

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

**TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA**

VI

EL OCHOCIENTOS
De los lenguajes al patrimonio

Enrique Alarcón Álvarez	José Ignacio Muro Morales
Carles Alayo i Manubens	Javier Ortega Vidal
José Vicente Aznar García	Stefan Pohl Valero
Emilio Bautista Paz	Francesc Rodríguez Ortiz
Vicente Casals Costa	Amaya Sáenz Sanz
Juan Ignacio Cuadrado Iglesias	Jesús Sánchez Miñana
Leonardo Fernández Troyano	Manuel Silva Suárez
Alberto Fraile de Lerma	Mercedes Tatjer Mir
Cecilio Garriga Escribano	Fernando Vea Muniesa
Josefina Gómez de Mendoza	M. ^a Ángeles Velamazán Gimeno
Guillermo Lusa Monforte	Patricia Zulueta Pérez
Javier Manterola Armisén	

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA

Publicación número 3.111
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2 · 50071 Zaragoza (España)
Tels.: [34] 976 288878/79 · Fax [34] 976 288869
ifc@dpz.es
<http://ifc.dpz.es>

© Los autores, 2011.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico»,
Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011.

Cubierta: La motorización es una característica esencial de la Revolución Industrial. Se
presentan motores de tres tipos, todos diseñados y contruidos en el siglo XIX:
Máquina de vapor semifuja vertical de Alexander Hermanos; motor horizontal de
gas de tipo Otto, protegido por patente de invención, de Joaquín Torres; y dina-
mo *Gramme* L5 construida por la Sociedad Española de Electricidad. Estos tres
tipos de motores coexistían en el cambio de siglo.

Contracubierta: Dibujos en la patente depositada por los ingenieros militares Eusebio
Molera Bros y Juan Cebrián Cervera el 20 de junio de 1880 en los Estados Unidos.
Residentes en California, trabajaron en muy diversos temas. Esta patente con-
cierne a una mejora para los microscopios.

ISBN: 978-84-7820-814-2 (obra completa)

ISBN: 978-84-9911-151-3 (volumen VI)

Depósito Legal: Z-3688-2011

Corrección ortotipográfica: Ana Bescós y Laura Ayala

Digitalización: María Regina Ramón, AHOEPM, Bibl. ETSICCP de Madrid y Fons Històric
de la ETSEI de Barcelona

Tratamiento digital: Manuel Silva Suárez

Maquetación: Littera

Impresión: INO Reproducciones, Zaragoza

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

El dibujo de máquinas: sistematización de un lenguaje gráfico

Patricia Zulueta Pérez
Universidad de Valladolid

Para llevar a cabo un análisis de la representación gráfica de la máquina en el siglo XIX es imprescindible reparar previamente en los grandes cambios que se produjeron durante el Siglo de las Luces, en la conjunción de diversos fenómenos tecnológicos y socioculturales que cambiaron el carácter de la vida en las últimas décadas del XVIII. La particular significación histórica del período ilustrado y los incipientes postulados de la geometría descriptiva lo convirtieron en un momento fundamental, un antes y un después en la representación, lo cual supuso un lapso esencial entre la escenificación real y figurativa que había comenzado en la época medieval y la esquematización normalizada propia de la Edad Contemporánea.

El dibujo de máquinas del XVIII aún participaba en gran medida de las características del dibujo en general. Los científicos ilustrados empleaban cierta codificación en su ejercicio gráfico que se acompañaba de la figuración y de un excelente tratamiento artístico de los objetos representados. Fue entonces, en el XVIII tardío y como recurso innovador, cuando los registros técnicos fueron ganando espacio dentro de la representación. Se mantenía la lectura escenificada propia de momentos precedentes, pero gradualmente se iba incorporando al espacio gráfico disponible una definición más técnica, de tal manera que el dibujo de las máquinas en el XIX fue perdiendo progresivamente parte de su calidad plástica en aras de la producción industrial. Los nuevos postulados geométricos, unidos a la fabricación en serie y al nacimiento del principio de intercambiabilidad (antecedentes directos de la normalización en la industria), contribuyeron decisivamente a la creación de un lenguaje gráfico propio de la ingeniería que, como tal, fue adquiriendo un conjunto de caracteres y símbolos —una sintaxis— incomprensible para el lector no cualificado.

En el mundo industrial que surgió tras el siglo XVIII el dibujo no solo no perdió su importancia comunicativa, sino que utilizó sus capacidades para expresar y registrar ideas e información y desarrollar paulatinamente principios y convenios hasta llegar a la situación actual, en la cual el dibujo industrial constituye un lenguaje gráfico preciso y universal. A partir de aquel momento discurrieron durante más de una centuria dos corrientes bien diferenciadas: por un lado, fluyó la representación englobada en

el mundo del arte —de la figuración objetiva o abstracta— y, por otro, la representación industrializada de la máquina, en la que el dibujo actuaba como sistema selectivo, comenzando entonces a imperar el significado sobre el parecido y convirtiéndose en objetivo principal de la representación técnica la descripción precisa del objeto frente al realismo de lo representado.

I

UNA APROXIMACIÓN AL ANÁLISIS GRÁFICO: EL DIBUJO DE MÁQUINAS

El dibujo es más fácil que su análisis de la misma forma que el lenguaje es más fácil que su teoría¹.

En la investigación gráfica predomina, en general, el método inductivo de investigación, lógicamente de inducción incompleta, pues los elementos del objeto de investigación, en nuestro caso planos y dibujos de una época, no pueden ser enumerados y estudiados en su totalidad, lo que obliga al sujeto de la investigación a recurrir a una muestra suficientemente representativa que permita establecer generalizaciones. Al igual que el método empírico de investigación científica, el inductivo está indicado en el estudio de las ciencias descriptivas, y en la investigación gráfica generalmente predomina lo descriptivo sobre lo analítico, habiéndose tratado los dibujos en cierto modo como obras de arte y procediendo a su descripción en términos exclusivamente estéticos. Nos explica el profesor Leopoldo Uría que existe un desfase evidente entre la cultura operativa —rica, dinámica, inventiva— y la cultura reflexiva —escasa y diluida en los propios dibujos—, una diferencia creciente entre el hacer y el pensar. El análisis gráfico, como proceso de reducción, trata de estudiar cada vez un aspecto determinado prescindiendo temporalmente de los demás, pero siempre con el objetivo final de una mejor comprensión del objeto analizado, entendido este como unidad indivisible. Por lo tanto, y al igual que en otros trabajos de carácter gráfico acometidos anteriormente, se atenderá a las claves de la investigación que establece como pauta Jorge Sainz para completar el proceso de análisis de un dibujo determinado. La secuencia analítica debería partir de la observación funcional del objeto representado recurriendo, si fuera necesario, a fuentes documentales o historiográficas cuando en la obra gráfica no se reflejase. Posteriormente deberá examinarse su apariencia formal, el sistema de representación elegido y las variables gráficas que pudieran formar parte de la composición; por último, habrá de ser identificada la técnica gráfica utilizada: lápiz, tinta, lavado o grabado².

¹ L. URÍA, 2001, pp. 59-63.

² J. SAINZ, 1990, p. 196.

En la actualidad, se ha generalizado la consideración del dibujo como *lenguaje gráfico* en cuanto a su identificación con una normativa que incluye un léxico y una sintaxis que definen los aspectos metódicos de la representación; a ello debe sumarse su valor comunicativo como *expresión gráfica* incidiendo en su trascendencia como vehículo de contenidos. Una utilización intuitiva y pragmática de este lenguaje (al igual que de otros cotidianos y convencionales como el lenguaje oral) podría explicar el sofisma que se percibe con cierta frecuencia y que consiste en cuestionar la importancia de su estudio y conocimiento científico atendiendo tan solo a su inmediato carácter práctico, apoyándose exclusivamente en el dibujo como acción representativa.

Si hacemos un breve recorrido por las utilidades propias de la representación gráfica de la ingeniería, inicialmente podemos enumerar las siguientes: la realización de planos de proyectos, la utilización como medio de expresión de los técnicos mediante bocetos, y la elaboración de ilustraciones con intención didáctica o para la divulgación científica. Junto a estas, y con carácter esencial, se debería destacar el elevado interés que posee la representación gráfica como herramienta de investigación, de tal modo que de una documentación con determinado grado de fidelidad se puedan realizar análisis que permitan extraer conclusiones certeras. Esta última aplicación es con toda probabilidad la menos contemplada a la hora de detenerse en la máquina dibujada; tal vez sea que «solo desde intereses filosóficos se plantea teorizar sobre algo que podemos utilizar cotidianamente»³.

A la representación de mecanismos con su actual significado como lenguaje gráfico se han ido incorporando paulatinamente símbolos y especificaciones que, junto a la forma y la información espacial de los objetos, han proporcionado otros contenidos multiplicadores de las capacidades comunicativas de los planos industriales, entre los cuales se encuentran el tipo de materiales, los tratamientos superficiales, instrucciones para el montaje de piezas, tolerancias dimensionales y geométricas, etc. Se concluye así un largo tránsito hacia una representación normalizada y codificada, llegando a reunirse las características de calidad que le son propias al dibujo técnico: concisión, completitud, adecuación a los receptores de la información y economía representativa.

II

ANTECEDENTES EN LA REPRESENTACIÓN

El desarrollo tecnológico ha estado muy influenciado en todas las épocas por las distintas técnicas de representación gráfica. El grafiado de elementos mecánicos fue alejándose progresivamente de una figuración inicial de carácter fundamentalmente

³ L. URÍA, 2001.

descriptivo y evolucionando hacia una mayor claridad gráfica que proporcionase una interpretación inequívoca de los objetos.

Desde el Medioevo hasta el Renacimiento el dibujo de máquinas se basaba principalmente en la representación escenificada del objeto; las muestras gráficas propias de este período, habitualmente enclavadas en textos de carácter técnico, consistían, en general, en modelos del conjunto del mecanismo con una función meramente ilustrativa, y en ocasiones presentaban algunos atisbos de convencionalismo. Recordemos el álbum de Villard de Honnecourt o el libro de Ibn al Razzaz al Jazari sobre los ingenios mecánicos, que, como tratados medievales que eran y según explica Erwin Panofsky, indican tan solo qué cosas pueden hacerse y cómo se deben hacer. No intentan ni por asomo explicarle al lector por qué se han de hacer de aquel modo determinado, no tratan de proporcionar al lector una serie de conceptos generales que puedan servirle de base para resolver problemas no previstos por el autor⁴.

Sin embargo, en el Renacimiento la representación técnica comenzó a exhibir ciertos aspectos gráficos recurrentes y junto a la lectura teatralizada de la máquina y su entorno, propia de los artistas, fueron elaborándose otro tipo de dibujos en los que se mostraba el objeto mecánico con una descripción más precisa, mediante cierta esquematización y atenuando la ambientación del espacio circundante. Para cubrir las necesidades representativas y resolver la cuestión básica de la expresión gráfica —que no era otra que la de definir en un soporte bidimensional una realidad espacial— se fueron desarrollando desde los comienzos de la Edad Moderna los denominados *sistemas de representación* como codificación geométrica por excelencia, a partir del concepto de proyección, cónica o cilíndrica. Entre ellos, la perspectiva —basada en la proyección cónica— se desarrolló a partir de los métodos de observación empírica y examen científico, teniendo como campo más próximo el de las matemáticas. Durante los siglos xv y xvi se realizaron estudios y contribuciones relevantes con abundancia de textos y tratados sobre los avances en el campo de la perspectiva, que a su vez recibió un gran impulso en el xvii debido a los trabajos llevados a cabo por matemáticos como Guidobaldo del Monte y Gérard Desargues, este último considerado fundador de la geometría proyectiva⁵.

Más adelante, en el siglo xviii, la transformación de las relaciones sociales fue determinante y de gran profundidad, y lo fue en tal medida que hizo necesario atender a las exigencias de un nuevo sistema social recurriendo a la invención de procedimientos técnicos inéditos. Se estableció entonces una relación más intensa entre ciencia, tecnología e industria, lo que llevó al nacimiento de un verdadero culto a la máquina que dio lugar a una transferencia de lo menestral al plano industrial. Ya entrado el Setecientos, la producción de imágenes relacionadas con la máquina

⁴ P. ROSSI, 1965, p. 41, citando a Erwin Panofsky.

⁵ Véase M. SILVA: «El lenguaje gráfico: inflexión y pervivencias», en M. SILVA (2004, esp. pp. 266-272, o 2008, pp. 270-276).

adquirió una finalidad particular que respondía a las exigencias que emanaban de las modificaciones en la estructura social. En esta primera fase del maquinismo los diseños mecánicos, materializados en planos y dibujos en los que se plasmaba magistralmente la técnica del lavado o la del grabado calcográfico, participaron en la comunicación de un determinado tipo de información destinado al desarrollo tecnológico y formaron las bases de una ideología de la tecnicidad. En definitiva, desde el siglo xvii, y más propiamente en el xviii, las mismas exigencias del sistema social que habían llevado a la división del trabajo se dejaron ver en los dibujos de máquinas que buscaban la descomposición en fases de los procesos artesanales de fabricación⁶.

En estos primeros intentos de racionalización de la información y como hecho innovador y de gran trascendencia —aunque con raíces en algunos teatros de máquinas renacentistas—, la compilación de los métodos analíticos y descriptivos se vinculó, en el xviii tardío, con una bipartición en las imágenes de la máquina que superponía en un mismo trabajo la figuración comparativa del todo y la especificación de las partes compositivas⁷. Se mantenía la representación escenificada propia de momentos precedentes, pero gradualmente los registros técnicos iban ganando lugar a la representación figurada del objeto y se iba incorporando al espacio gráfico disponible una definición más técnica. Comenzaba a describirse exhaustivamente las partes compositivas de los artilugios mecánicos, que a su vez se disponían de manera que narrasen el procedimiento de trabajo más rentable. Finalmente, con la progresiva llegada de la industrialización a comienzos del siglo decimonónico, las muestras antes descritas no volvieron a convivir en el mismo espacio gráfico y continuaron, a partir de aquel momento, como corrientes bien diferenciadas. Así, por un lado comenzó a gestarse la representación técnica de la máquina mediante esquemas abstractos, origen del posterior dibujo industrial, y por otro se iniciaron las manifestaciones artísticas que atendían al maquinismo como proceso social y se acercaban progresivamente hacia una ruptura total entre ambos campos, el de la técnica y el de la plástica.

⁶ En tanto que lenguaje básico de la técnica, en la introducción del volumen iii de esta colección —M. SILVA: «Lenguajes de la técnica en tiempos de revoluciones», en M. SILVA SUÁREZ (2005), pp. 14-37— se presentan unos apuntes sobre la representación gráfica en el siglo xviii. Sobre la representación de las máquinas en ese período véase nuestra monografía *Los ingenios y las máquinas* (P. ZULUETA, 2007).

⁷ Véase M. SILVA: «El lenguaje gráfico...», en M. SILVA (2004, esp. pp. 289-300, o 2008, pp. 293-304). Por ejemplo, la ilustración 7.26.1, extraída de Vittorio Zonca (1607). No obstante, la bipartición aparece previamente en otros «teatros de máquinas», como los de Agostino Ramelli (1588) o Salomón de Caus (1615), por ejemplo. En el xviii, la aludida bipartición será casi norma; se puede observar, por ejemplo, en la enciclopedia de Diderot y D'Alembert (*Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, 1751-1772) o en la posterior de Panckoucke (*Encyclopédie méthodique*, 1783). Bartolomé de Sureda, en *Descripción de las máquinas de más general utilidad que hay en el Real Gabinete de ellas, establecido en el Buen Retiro* (1798), utilizará la bipartición incluso en descripciones bellamente coloreadas a la aguada (por ejemplo, en «La prensa de Bramah»), técnica que enseñó a Francisco de Goya.

Mientras se iba recorriendo el Ochocientos, la vertiente técnica del dibujo industrial iba germinando en las escuelas de ingenieros de nueva creación bajo los fundamentos de la geometría descriptiva y los inicios de la normalización. Ello dio lugar a la adquisición progresiva del carácter de un lenguaje gráfico propio de la ingeniería, con un creciente y gradual alejamiento de la figuración.

III

APUNTES SOBRE EL DIBUJO DE MÁQUINAS EN EL SIGLO XIX

El nuevo siglo, el de la industrialización, trajo consigo determinadas modificaciones sustanciales; el concepto de unicidad del objeto comienza a desaparecer —anteriormente se inventaba y se construía *una* máquina— y surge en la incipiente ingeniería industrial un proceso que permanecería a partir de entonces ligado a la elaboración del proyecto, que no era otro que el de la producción en serie. Consecuentemente, este hecho trajo consigo la necesidad de una normalización y una codificación a la hora de dibujar, y debido a esta y otras causas, cambió de forma radical la noción de representación gráfica. El dibujo mecánico recibió entonces un fuerte impulso y comenzó a diferenciarse del arquitectónico, pues hasta aquel momento las técnicas de representación de dibujos de máquinas y conjuntos eran similares a las utilizadas en las edificaciones. A lo largo de la centuria la esquematización se fue haciendo cada vez más presente en los planos científicos, lo cual, junto al gradual establecimiento de los nuevos métodos de reproducción de planos, hizo que con mayor o menor celeridad se fuera abandonando aquella técnica del lavado con la que se producían planos coloreados de indiscutible belleza.

El objetivo primordial de la representación gráfica siempre ha consistido en transmitir a través de determinados convencionalismos gráficos una información exacta de una realidad con un fin técnico; esta serie de acuerdos hace posible que el dibujo sustituya, anticipe o restituya una realidad. Mediante la progresiva incorporación de códigos, el dibujo de la máquina fue modificando la representación realista de épocas pasadas hacia una imagen conceptual propia ya del siglo XIX en la cual, como explica el profesor Gombrich, un complejo entramado de convenciones gráficas hace posible una lectura inequívoca con información verídica y universal de lo dibujado⁸. En las representaciones técnicas lo sustancial ha de ser la descripción correcta de lo representado y no su apariencia de realidad, y ello se consigue a través del empleo de los códigos gráficos que permiten una lectura certera de los aspectos mensurables del objeto⁹. Consecuentemente, entendida la descripción gráfica como lenguaje —el lenguaje de la técnica—, esta debería poseer una gramática normativa que

⁸ E. H. GOMBRICH, 1987, p. 163.

⁹ C. de SAN ANTONIO, 1995, p. 128.

definiera los usos correctos de dicha lengua mediante reglas o preceptos precisos y referidos, por un lado, a las claves geométricas necesarias para lograr la racionalización del espacio y, por otro, a los convencionalismos formales.

Por lo tanto, en el dibujo técnico —concebido como lenguaje utilizado en el mundo de la técnica para expresar y registrar ideas e información destinadas a la producción—, para el grafiado de los elementos compositivos de las máquinas se hizo necesaria la presencia de una importante simplificación. En una etapa inicial de la codificación el dibujo debía actuar como sistema selectivo, pues, en cualquier caso, al código se llega mediante una selección de la información, eligiendo y eliminando datos de la realidad. Así, al representar aquellos elementos mecánicos, tales como roscas, engranajes, cadenas..., cuyo perfilado resultaba extremadamente laborioso, y sustituirlos por determinadas líneas cargadas de simbolismo en función de su trazado —continuo o espaciado— o de su grosor —fino o grueso—, se hizo imprescindible evidenciar de algún modo las características propias del objeto representado, para lo cual surgió la simbología como apoyo esencial para posibilitar la lectura de los planos técnicos.

Así las cosas, se podría asegurar que el dibujo de máquinas decimonónico fue adquiriendo gradualmente las características propias de un sistema gráfico, al ir recibiendo determinados aspectos convencionales o «monosémicos» de la representación. Los dibujos de alto contenido tecnológico —como son los de ingeniería— contienen códigos estrictos que establecen relaciones biunívocas entre significante y significado por ser dibujos sistematizados con símbolos predefinidos de antemano y con un significado único¹⁰.

IV

LA NUEVA SISTEMATIZACIÓN GEOMÉTRICA

Si hacemos un recorrido por los convencionalismos geométricos esenciales encargados de la tarea de racionalizar el espacio a lo largo de la historia, nos encontramos en primer lugar ante el nacimiento de la primera codificación en los sistemas de proyección geométrica, la definida por Vitruvio en el siglo I a. C. mediante las tres *especies* de representación —*ideas*, según los griegos— la *ichnographia*, que corresponde a la planta; la *orthographia*, perteneciente al alzado geométrico de cualquiera de sus caras externas y a los cortes interiores, y la *scenographia*, que muestra el alzado óptico o «puesto en perspectiva»¹¹. La siguiente referencia escrita sobre los citados procedimientos de proyección no se encontrará hasta el Renacimiento cuando a mediados del siglo XV Leon Battista Alberti, en su tratado *De re aedificatoria*, menciona la necesidad

¹⁰ J. SAINZ, 1990, pp. 27-28.

¹¹ VITRUVIO, 1787, libro I, cap. II, p. 9.

de representar la arquitectura mediante la planta y la sección, restando importancia a la *ortographia* vitruviana. Tras la huella de este humanista, algunas décadas después, Rafael de Urbino completa las obras anteriores describiendo con todo detalle las citadas proyecciones. Dicha codificación, junto con la sistematización del uso de la perspectiva durante el Renacimiento italiano, propició que comenzaran a gestarse las imágenes técnicas del modo en el que hoy son concebidas¹².

IV.1. *La geometría reglamentada por Monge*

Como es bien sabido, en el lenguaje de la técnica el dibujo de máquinas decimonónico fue perfeccionando conceptos, procedimientos y normas. Gaspard Monge formuló en las postrimerías del siglo XVIII las reglas de la geometría descriptiva, *generalizando* los métodos introducidos siglos atrás por los tratadistas del Renacimiento, *recogiendo* la labor desarrollada en épocas pasadas por geómetras, técnicos y artistas y *exponiendo* de forma rigurosa los diferentes sistemas de representación de un objeto tridimensional en las dos dimensiones de un soporte. El sistema diédrico, basado en la proyección cilíndrica ortogonal, se sistematizó sobre las bases de la geometría proyectiva y pronto se fue convirtiendo en el fundamento del dibujo industrial y de los recursos gráficos utilizados por la ingeniería, hasta llegar a ser enseñanza obligada en la instrucción técnica.

Este arte tiene dos objetos principales. [...] El primero es representar con exactitud sobre los diseños de dos dimensiones los objetos que tienen tres, y que son susceptibles de una determinación rigurosa. [...] Baxo este punto de vista es una lengua necesaria al hombre de genio que concibe un proyecto, a los que deben dirigir su ejecución, y en fin a los artistas que por sí mismos deben executar sus partes diferentes. [...] El segundo objeto de la geometría descriptiva es deducir de la descripción exacta de los cuerpos todo quanto se sigue necesariamente de sus formas y de sus posiciones respectivas. En este sentido es un medio de investigar la verdad¹³.

Por medio de la doble proyección ortogonal, y con apoyo de procedimientos geométricos simples pero rigurosos, un conjunto de técnicas gráficas dispersas se sintetizó entonces y se convirtió en un cuerpo de doctrina enteramente elaborado. Por sus características, el sistema diédrico proporcionaba la interpretación exacta del objeto descrito manteniendo intactas sus propiedades geométricas, como la escala —relación entre las medidas del objeto real y el objeto dibujado— o la semejanza de superficies —con permanencia formal de las figuras geométricas planas representadas—, así como la invariabilidad en las magnitudes angulares. Fue en la obra de Monge donde quedó regulada de forma científica la representación gráfica bidimensional; sus lecciones fueron publicadas en 1798 y sin hacerse esperar se implantaron en las nuevas enseñanzas técnicas.

¹² J. SAINZ, 1990, p. 112.

¹³ G. MONGE, 1996, p. VI.

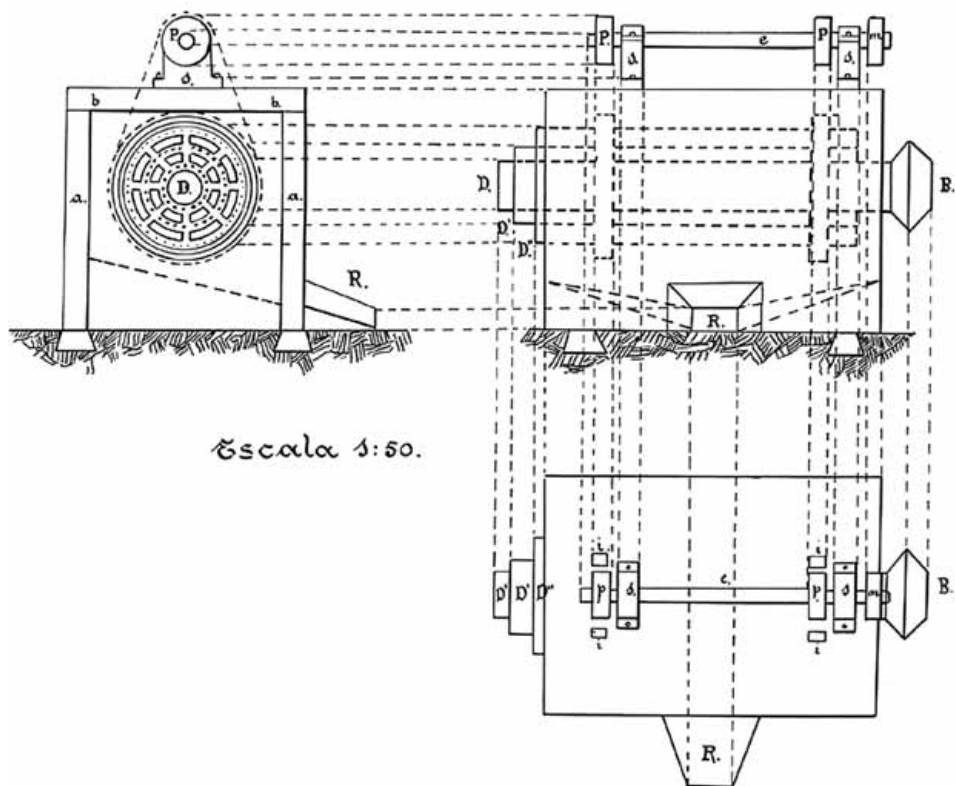
Ahora bien, aunque resulta indiscutible que dicha instrucción haya marcado el aprendizaje de una época, existen, no obstante, opiniones contrapuestas en un intento de situar este hecho en su verdadero lugar en la historia de la enseñanza técnica y sus aplicaciones. Así, ante la rotundidad de afirmaciones que aseveran que sin la geometría descriptiva la fabricación de máquinas en el siglo XIX habría sido imposible, se han alzado otras voces que nos recuerdan hechos relevantes como, por ejemplo, que Inglaterra por diversas razones no adoptara dicha instrucción y, sin embargo, haya sido considerada pionera de la Revolución Industrial. Probablemente, la diferencia radica en considerar a la geometría descriptiva como una invención producto de una necesidad, en cuyo caso, como explica el profesor Deforge, realmente hubiera sido más necesaria en períodos anteriores para la construcción de las catedrales medievales o las fortificaciones militares; o bien en contemplar dicha disciplina como una síntesis magistral de un conjunto de prácticas que de manera natural se había ido transmitiendo de generación en generación desde el nacimiento de los oficios. El mismo Monge reconocía la previa existencia de métodos gráficos que habían resultado eficaces a los artesanos de siglos pasados; por ello, donde él realmente colocaba el acento era en el carácter práctico y racional de la geometría descriptiva más que en su novedad, entendiendo que su doctrina constituía una consolidación de anteriores procedimientos gráficos dispares¹⁴.

El uso instrumental de la representación gráfica adquirió en el siglo XIX el grado de convencionalidad necesario para que únicamente quien fuera conocedor de sus reglas pudiera comprender perfectamente lo representado; los dibujos debían resultar idénticos aun habiendo sido elaborados por autores diferentes. El dibujo en general se convirtió a partir de entonces en dibujo científico poseedor de métodos gráficos convencionales¹⁵. Unido a ello, con el establecimiento del sistema métrico decimal nacido en Francia en las postrimerías del Setecientos, el carácter mensurable de la representación adquirió una condición universal a diferencia de los siglos anteriores, en los cuales se acudía frecuentemente a escalas gráficas basadas en unidades distintas para cada país o incluso para cada ciudad.

En virtud de todo este entramado teórico, las nuevas técnicas gráficas supusieron transformaciones radicales en el concepto del dibujo como disciplina útil al servicio de los nuevos proyectos industriales. Se hicieron necesarias las representaciones geometrizadas, carentes de ornamentación, científicas y acordes con los nuevos requerimientos del siglo. La Revolución Industrial y el diseño de máquinas exigían soluciones rápidas y precisas, por lo que era necesario unificar los procedimientos y convencionalismos de representación.

¹⁴ Y. DEFORGE, 1981, pp. 189-201, «Monge et les avatars de la géométrie descriptive».

¹⁵ J. SAINZ, 1990, p. 52, citando a Luigi Vagnetti, *L'architetto nella storia di Occidente*, ed. de 1984, p. 442.



4.1. Representación en sistema diédrico: Un procedimiento mecánico para limpiar minerales de hierro (AHOEPM, exp. 27013, 1900): La correspondencia entre las tres vistas principales elegidas: planta, alzado y vista lateral izquierda, se establece mediante líneas de proyección trazadas con línea discontinua. Tras analizar la disposición relativa de las vistas se aprecia la ausencia de normalización; así, la planta (vista superior) se sitúa bajo el alzado siguiendo el método de proyección del primer diedro (sistema europeo), mientras que la vista lateral izquierda —que, siguiendo el mismo criterio, debería situarse a la derecha del alzado— se dispone a su izquierda como si se tratara del sistema americano.

En España desde principios de siglo se conocía la *Geometría descriptiva*, pues su primera traducción la llevó a cabo el creador de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, Agustín de Betancourt, en 1803, cuatro años después de su publicación en Francia. Al parecer, según explica el profesor Gentil Baldrich, hubo que esperar al año 1846 para que viera la luz el primer tratado de geometría descriptiva escrito por un científico español, José Bielsa y Ciprián, que lo realizó para la Academia de Artillería de Segovia bajo el título *Tratado elemental de geometría descriptiva y sombras, para uso de los caballeros cadetes de artillería de Segovia*¹⁶.

¹⁶ M. Á. LEÓN *et al.*, 2001.

En uno de los muchos textos de la época dedicados al estudio de esta ciencia y sus aplicaciones, como es el *Atlas de Geometría descriptiva* de Baltasar Cardona y Escarrabill editado en Barcelona en 1865, podemos leer:

La ciencia del cálculo y el dibujo descriptivo forman la primera y principal base de los conocimientos indispensables á los que se dediquen ó aspiren á cualquiera de las carreras superiores, profesionales y de aplicación, creadas para intervenir en la dirección y ejecución de las construcciones y artefactos de todas clases¹⁷.

Por lo tanto, desde la sistematización de Monge la geometría descriptiva ha constituido la base teórica del dibujo técnico en casi todos los países desarrollados y ha permitido la ordenación de todos los conocimientos geométricos y su distribución para la elaboración racional de los documentos gráficos. De la observación de planos y dibujos de la época puede deducirse que todavía no se aplicaba una disposición establecida de las proyecciones ortogonales del objeto. En esta línea, una de las primeras medidas reguladoras en la representación técnica consistió en organizar el reparto de las vistas principales sobre el espacio de dibujo disponible, de modo que de la posición relativa de las mismas —alzado, planta, vistas laterales izquierda y derecha, vista posterior y vista inferior— pudiera deducirse su correspondencia sin necesidad de leyenda identificativa alguna. Dentro del sistema diédrico existen dos alternativas normalizadas para situar las vistas principales en los planos: el sistema europeo (o del primer diedro) y el sistema americano (o del tercer diedro). La elección de uno u otro dependerá de la posición relativa del objeto respecto a los planos coordenados que compartimentan el espacio.

IV.2. Las perspectivas paralelas

Siguiendo en la misma línea, en el siglo XIX se produjo otro hecho señero en lo referente a la racionalización espacial. Nos estamos refiriendo al ordenamiento de la perspectiva axonométrica. La axonometría —sistema de representación basado igualmente en la proyección cilíndrica ortogonal—, como sistema visivo que es, proporciona el desarrollo en el plano de las tres dimensiones del objeto sin por ello perder la mayor parte de sus propiedades geométricas, lo cual es un claro ejemplo de economía representativa. Sin embargo, no permite examinar todos los detalles geométricos de los cuerpos, como ocurría con el diédrico, pues dependerá en cada caso de los tres planos visualizados. Aunque desde el Renacimiento ya habían surgido perspectivas axonométricas no registradas como tales, su establecimiento como sistema de representación tridimensional se produjo en las primeras décadas del siglo XIX durante la Revolución Industrial, y desde entonces ha sido muy utilizado tanto por la sencillez de su trazado como por su capacidad de facilitar el reconocimiento de los objetos con un solo golpe de vista. Entre la obra de Monge y la de sus discípulos, que incorporaron decididamente la axonometría dentro de sus tratados sobre geometría descriptiva,

¹⁷ B. CARDONA, 1865, lib. I, p. v.

aparece la obra de un contemporáneo suyo, científico inglés y profesor de Cambridge, el reverendo William Farish (1759-1837), quien en su calidad de presidente de la Cambridge Philosophical Society expuso en unas conferencias impartidas en 1820 los fundamentos geométricos de la isometría —variedad axonométrica en la cual se representan bajo la misma escala las tres dimensiones de los objetos—. Publicadas en 1822 bajo el título «On isometrical perspective», dichas lecciones presentaban este nuevo método de proyección, que fue considerado apropiado para la representación de las máquinas. Farish concebía el sistema como un caso particular de la perspectiva lineal que surgía cuando el punto de vista se situaba en el infinito, por lo cual los rayos del cono visual —fundamento euclidiano de la perspectiva cónica— resultaban ahora paralelos y formaban un haz de rectas de vértice impropio. Fue este científico quien utilizó la isometría como sistema de representación con la finalidad de mostrar a sus alumnos los mecanismos de las máquinas de las fábricas inglesas que por su tamaño no se podían transportar; lo cual no impedía que él mismo reconociese que la representación de un mecanismo complejo a través de sus vistas ortogonales era el método más adecuado que podía utilizar el ingeniero diseñador, aun presentando el gran inconveniente de la dificultad de su lectura, apta únicamente para expertos.

Los estudios de Farish fueron continuados por el matemático Theodore Olivier y recogidos en su tratado sobre geometría descriptiva, de 1843, con el nombre de *Proyección isométrica*. Posteriormente, en 1857, el alemán Julius Ludwig Weisbach publicó un completo estudio teórico sobre el dibujo axonométrico en el cual se incluía un profundo componente matemático. Muchos otros científicos del citado siglo contribuyeron al desarrollo del nuevo sistema; entre ellos destacaron Oskar Schölmilch y Karl Pohlke. En un texto titulado *Corso teorico-pratico ed elementare di disegno axonometrico*, su autor se refiere a la figura del ingeniero Quintino Sella, profesor de Mineralogía en la Regia Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Torino, como el artífice, a finales del año 1856, de un hecho relevante que consistió en la disociación de la parte teórica del sistema axonométrico —la relativa al cálculo trigonométrico— de la parte práctica, «deducendola cioè da semplice considerazione di geometria elementare»¹⁸, facilitando de este modo la aplicación directa al dibujo técnico.

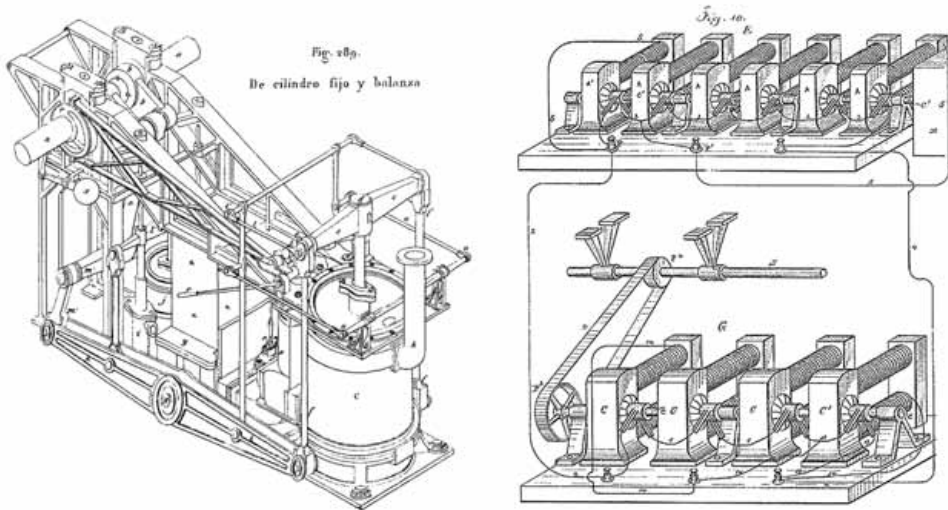
En España, el profesor de la Universidad de Madrid Eduardo Torroja Caballé publicó en 1879 un texto titulado *Axonometría o perspectiva axonométrica* en el que decía:

A las indudables ventajas que la Proyección Axonométrica ofrece sobre los demás sistemas de representación, debe atribuirse el que se haya extendido, en pocos años, su aplicación a todos los dibujos en que importa la rapidez en el trazado y la facilidad de apreciar a primera vista, con una sola proyección y sin conocimientos previos de ninguna especie, tanto la forma como las dimensiones de los objetos representados. No solo se emplea hoy en los tratados de Geometría y en los de cristalografía [...], sino que

¹⁸C. AGOSTINO, 1861, pp. 4-6.

también vemos trazadas con arreglo a sus principios las figuras que ilustran los tratados de Construcción, los de Máquinas y los de Física experimental¹⁹.

Todo parece indicar que el siglo XIX constituyó el momento en el cual se hizo posible la toma de decisiones convencionales para la organización adecuada de la representación. Este hecho consistía tanto en la elección de los planos de referencia del objeto en sí mismo —el triedro trirrectángulo adecuado a su geometría interna— como en la del plano o planos de proyección, estableciendo la posición relativa del objeto respecto a ellos. Dependiendo de la coincidencia o no de los planos de referencia con los de proyección, las figuras se mostrarán bidimensional o tridimensionalmente. Así, en el sistema diédrico la correspondencia de los planos de proyección con dos de los planos de referencia de los cuerpos representados determina que las figuras se muestren, habitualmente, en dos dimensiones. Si, por el contrario, dichos planos —los de proyección y los de referencia— no son coincidentes, como en el caso del sistema axonométrico en el que el plano del cuadro resulta ser oblicuo a todos los del triedro, la figura se presentará en tres dimensiones. No obstante, en la perspectiva paralela oblicua —caballera— el plano de proyección se identifica, al igual que en el diédrico, con alguno de los del sistema, y, sin embargo, al no tratarse de una proyección ortogonal dará lugar igualmente a una vista volumétrica.

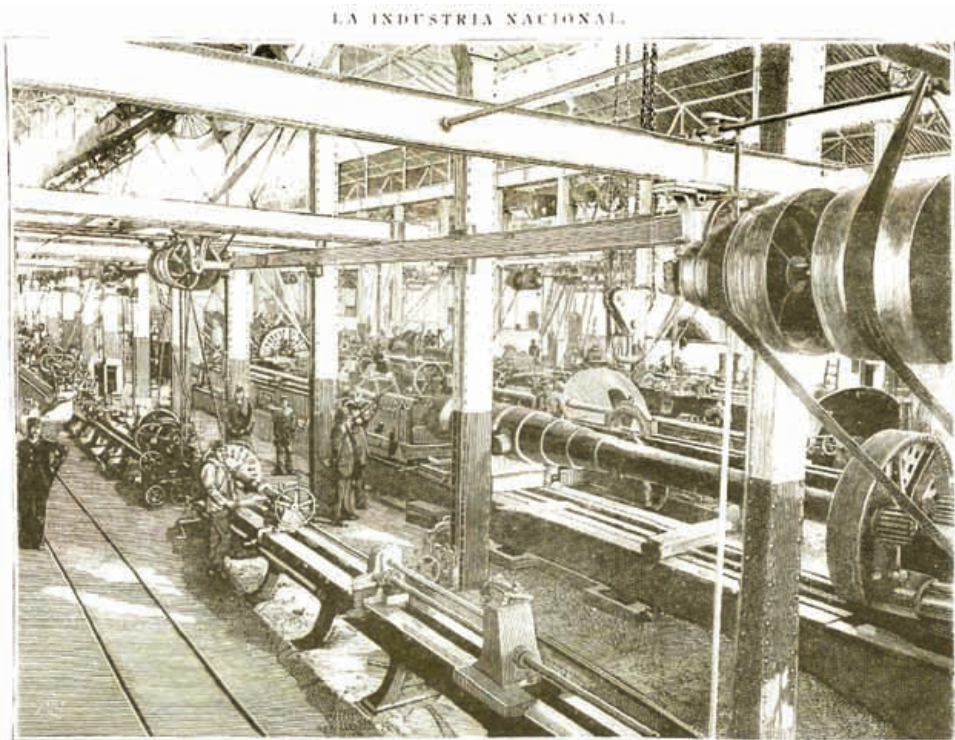


4.2. Perspectivas isométrica y caballera, ambas paralelas: 1) Máquina de paletas usada en los barcos (N. VALDÉS: Manual del ingeniero y el arquitecto, 1870. Atlas, lám. 24, fragmento); 2) Unas mejoras en máquinas magnéticas o dinamoeléctricas aplicables a generadores y a motores (AHO-EPM, exp. 01530, 1881).

¹⁹ E. TORROJA, 1879, prólogo.

La Perspectiva Fantástica o Libre (Cavalière) es una imitación de la perspectiva regular en que se supone que el cuadro es paralelo a dos de las dimensiones principales del cuerpo²⁰.

Entre los sistemas tridimensionales de representación, en el ámbito industrial propio ya del siglo XIX tuvieron mayor aplicación las perspectivas paralelas que la cónica, pues esta última, aun con menor grado de abstracción que las anteriores y con una definición aparentemente más real del objeto, presentaba un elevado grado de complejidad a la hora de restituir las medidas a la realidad. Sin embargo, la perspectiva lineal estuvo muy presente en las ilustraciones de talleres, fábricas y objetos industriales que exhibían las publicaciones periódicas propias del siglo, como *El Museo Universal* o *La Ilustración Española y Americana*, entre otras, que actuaban como crónica social de los nuevos logros.



4.3. Perspectiva lineal (de fotografía directa): *La Industria Nacional, Talleres de la fundición de cañones de los Sres. Portilla, White y Compañía, Sevilla* (*La Ilustración Española y Americana*, 22 de febrero de 1890, n.º VII, p. 117).

²⁰ A. SÁNCHEZ TIRADO, 1867, p. 19.

La denominada específicamente *perspectiva*, basada en el sistema cónico o central, vivió su época más fecunda en el período transcurrido entre su invención en el siglo xv y el siglo xix, con la elaboración de textos y tratados y la construcción de máquinas e instrumentos para el auxilio en su trazado. Siguieron vigentes en el Ocho-cientos los tratados de siglos precedentes junto a algunos de nueva creación, entre los que señalamos el tratado sobre el *Arte de la Perspectiva* publicado en Barcelona en 1840, elaborado por José Planella y Corominas, y que comienza así:

En una época en que el afán de rectificar errores, de adelantar los acontecimientos y de difundir la ilustración es tan general, mengua sería que el arte de la Perspectiva yaciese para los Españoles en abandono y entre la confusión de inexactitudes con que por desgracia varios autores le desfiguran y degradan²¹.

Entre los diversos artilugios inventados como elementos de apoyo para el trazado de perspectivas se encontraba la cámara oscura, muy utilizada ya en el Renacimiento, cuya capacidad para captar las imágenes era bien conocida por los artistas de la época. En un paso adelante, durante el siglo xix se alcanzó la posibilidad de fijar la imagen aprehendida por medios físico-químicos, lo cual propició que el investigador Joseph-Nicéphore Niépce fuera el primero en experimentar con uno de los logros del siglo, la fotografía. Aun siendo considerado como el recurso perspectivo más exacto, dicho invento no fue de utilidad precisa en el proceso industrial, excepto en catálogos publicitarios o patentes de invención, y se utilizó como registro complementario a la documentación técnica.

IV.3. *El uso de la sombra*

Por otra parte, en el siglo de la industrialización, como vestigio de la escenificación pictórica precedente y con la clara intención de lograr una mayor aproximación a la realidad, todavía se advertía con cierta frecuencia la presencia de la sombra como recurso ilustrativo a modo de concesión estética. En las representaciones de vistas de los objetos mecánicos era habitual la indicación de la sombra propia de los elementos geométricos compositivos; se trataba de superficies que portaban generalmente un rayado paralelo trazado para conseguir una pretendida sensación de volumen. Ciertamente, el empleo de esta práctica en ocasiones daba lugar a cierta confusión o redundancia gráfica, al mostrarse simultáneamente junto a otros recursos como podían ser el tratamiento de una textura determinada, el rayado paralelo de un plano seccionado o las líneas simbólicas que representaban un elemento mecánico.

Podemos constatar igualmente la existencia de textos y tratados sobre el trazado de sombras elaborados con un exhaustivo rigor científico. Tal es el caso de la ampliación llevada a cabo por Bernabé Brisson (1827) a partir de la obra de Monge, con una explicación del método de obtención de las sombras; el texto del arquitecto Antonio Rovira y Rabassa (1890) sobre puntos y líneas brillantes y degradación de tintas; o bien el

²¹J. PLANELLA, 1840, p. 1.

tratado del matemático francés Alphonse Joseph Adhemar (1873) utilizado como libro de texto en las escuelas de Ingeniería españolas y en muchas de las europeas.

Simultáneamente, en las representaciones de las nuevas máquinas e inventos que acostumbraban a ilustrar las páginas de publicaciones periódicas del siglo, y en un intento aún mayor de completar el aspecto visivo de la realidad, se mostraban con cierta frecuencia los dibujos en perspectiva acompañados de la sombra que arrojaba la máquina sobre el plano de apoyo. En general no se trataba de una representación precisa, aquella basada en la proyección oblicua que formuló Monge científicamente en su *Geometría descriptiva*, sino que era una sombra de asentamiento, una pequeña sombra de anclaje colocada al pie de un cuerpo para afianzarlo en el espacio que lo contenía.

En otros casos, en un alejamiento progresivo del dibujo académico y en el camino de la conceptualización propio del dibujo técnico, se iba insinuando la sombra con la exclusiva variación de los tipos de línea, pues, como nos explica Juan José Gómez Molina,

culmina y se estabiliza una clasificación, generalizada aunque excesivamente esquemática, para diferenciar el «dibujo artístico» del «dibujo lineal» [...]. Desde entonces el llamado «dibujo lineal», de carácter geométrico, técnico o científico, va a quedar representado por la autoridad del dibujo politécnico, de línea, que llegó a proscribir el uso de los colores y las sombras [...] con la convención de prescindir del sombreado para sugerirlo exclusivamente con diferentes grosores de trazo²².

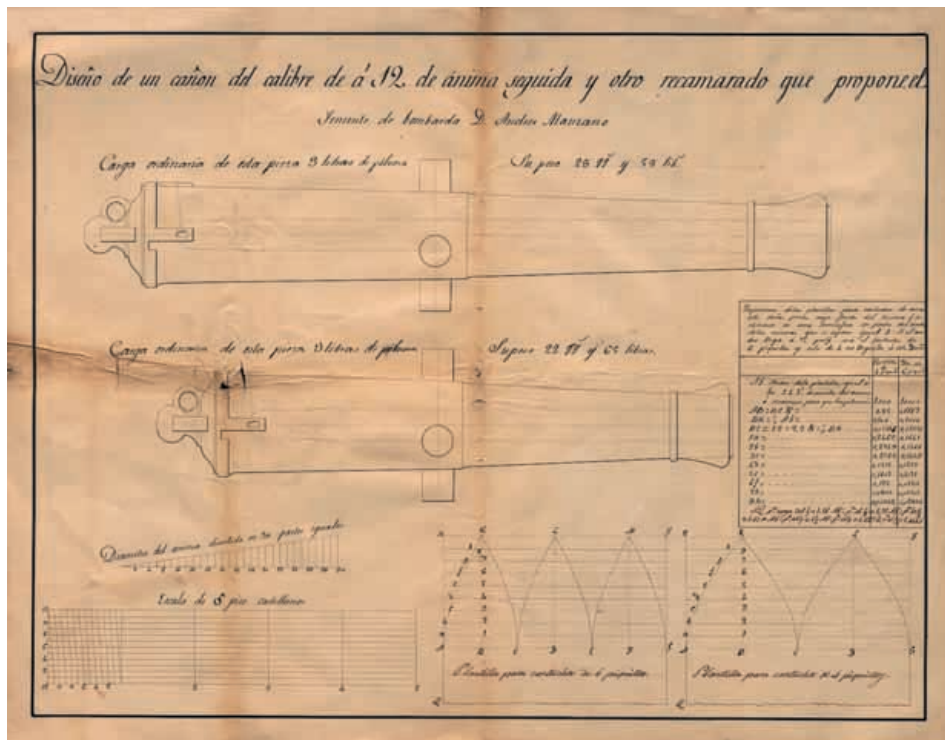
V

LA CODIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS FORMALES

Como habíamos comentado con anterioridad, la función básica de la representación técnica no es otra que la de ofrecer una información precisa e inequívoca del objeto representado mediante su descripción gráfica. Por ello, para conseguir la imagen gráfica técnica —la adecuada para definir piezas y mecanismos—, lo verdaderamente relevante es la definición exacta del objeto, y no la apariencia de realidad, y ello se logrará gracias al trazado de dibujos normativos con el empleo de códigos gráficos. La geometría —descriptiva, métrica y proyectiva— constituye la estructura sobre la que se sustenta toda la trama representativa e interpretativa, mientras que el instrumento para lograrlo no es otro que el conjunto de normas que se acordaron a principios del xx a partir de las convenciones que se fueran estableciendo paulatinamente en épocas anteriores²³.

²² J. J. GÓMEZ MOLINA *et al.*, 2002, p. 126.

²³ C. de SAN ANTONIO, 1995, pp. 119-137.



4.6. *Insinuación de la sombra mediante diferentes grosores de línea*: Diseño de cañón (Andrés Manzano, 1826, ref. 0317, Museo Naval de Madrid).

V.1. La visión del interior de las máquinas

Una vez analizada la forma de representar los objetos mecánicos mediante las proyecciones basadas en la tríada de Vitruvio reguladas durante los siglos xv al xix por científicos y artistas de las diferentes épocas, se advierte que en el ámbito industrial es muy habitual que surja la necesidad de representar las aristas y los contornos ocultos para proceder a una completa definición de piezas y conjuntos mecánicos. Sin embargo, la representación de todas y cada una de estas líneas conlleva un grado elevado de complejidad a la hora de materializar e interpretar los dibujos. Para solventar este problema el recurso gráfico idóneo no es otro que el de la representación seccionada.

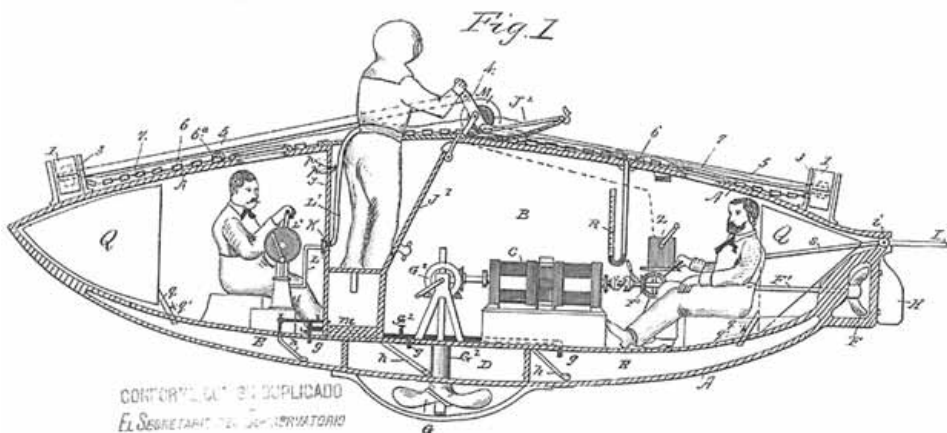
La progresiva consolidación teórica de la proyección ortogonal resultó ser el camino hacia la codificación definitiva del método de representación por excelencia, el dibujo de la planta, la elevación y el corte. En esta línea de pensamiento, el arquitecto Jean-Nicolas-Louis Durand, en sus *Lecciones de arquitectura*, publicadas en la primera década del Ochocientos, expresaba la idea fundamental del orden en la composición de los planos otorgando a la sección una categoría gráfica equivalente a la de la planta o el alzado:

Para dar una idea completa de un edificio es necesario hacer tres dibujos denominados planta, alzado y sección [...]. Se podrían hacer todos estos dibujos en hojas de papel separadas, pero se economizará mucho tiempo haciéndolos en una sola, al tener que corresponderse la mayor parte de las líneas de los tres dibujos, y pudiendo, en consecuencia, ser trazadas todas a la vez²⁴.

En planos y dibujos de máquinas del siglo XIX se aprecia un uso constante de secciones y cortes realizados con un carácter menos intuitivo y más técnico que aquellos otros de épocas pasadas, elaborados, en muchos de los casos, desmoronando las superficies externas para poder así visualizar el interior. Entre los planos consultados podemos encontrar una gran variedad de tipos de cortes y secciones de diferentes características: cortes completos; medios cortes (alzado-sección o planta-sección, *súmmum* de la economía representativa) en los que habitualmente se representa el eje central de simetría mediante una línea sinuosa fina como reminiscencia de una cierta apariencia de realidad (fig. 4.4); cortes auxiliares parciales; secciones abatidas; o cortes escenificados.

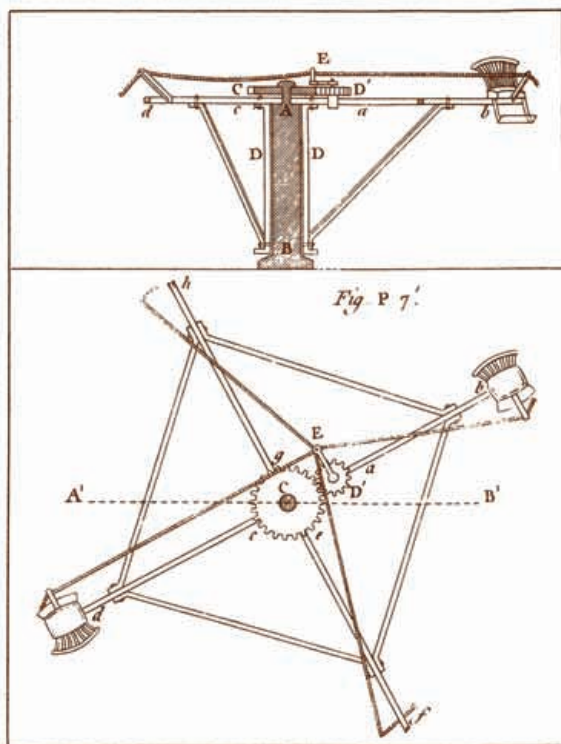
En la mayoría de los casos se aplicaban determinados convenios para hacer reconocible el tipo de vista de que se trataba, lo cual se lograba sin más que indicar la traza del plano de corte acompañada de una denominación específica mediante cifras o letras; o bien, a través de la valoración de las superficies seccionadas mediante el uso de una textura gráfica específica que consistía, generalmente, en un rayado paralelo de interlineado uniforme con un determinado ángulo de inclinación.

Asimismo, observando ejemplos en los que se muestran los objetos mediante su representación seccionada podemos apreciar, ya en aquel momento, la presencia de



4.7. Corte escenificado: Mejoras en los buques submarinos provistos de torpedos (AHO-EPM, exp. 4182, 1884).

²⁴J.-N.-L. DURAND, 1981, p. 22.



4.8. Representación mediante la planta superior y un corte según la dirección del alzado, con indicación del plano seccionador (A'B') y aplicación de rayado en la superficie seccionada: Mecanismo inventado por Marcel Pradinet que constituye un ejemplo del grupo de máquinas que permiten la combinación del movimiento circular continuo y el movimiento rectilíneo alternativo (J. M.^a de LANZ y A. de BETANCOURT: Ensayo sobre la composición de las máquinas, París, 1808).

ciertos acuerdos gráficos que fueron tipificados posteriormente, como es el caso particular de considerar libres de sección por su plano de simetría los elementos macizos de desarrollo longitudinal, como ejes, tornillos, árboles, nervios, etc.

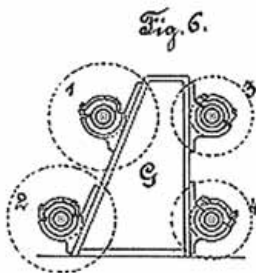
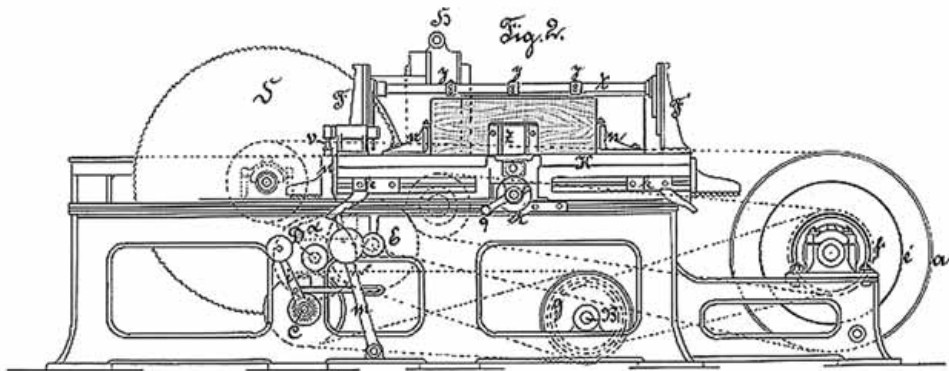
V.2. La autoridad de la línea y la utilización del color en los planos y dibujos. Las texturas gráficas

Continuando con la secuencia de recursos gráficos necesarios para la consecución de los planos técnicos en la época en estudio, analizaremos la presencia y la valoración de la línea. Su concepción, como elemento de expresión gráfica por excelencia, es posible que vaya más allá de la definición euclidiana que habitualmente se nos presenta; la línea geométrica en cuanto extensión considerada solo en su longitud adquiere en el siglo XIX un valor emergente como traza, como línea dibujada, y alcanza una nueva dimensión, su grosor, mediante el cual la materialización visible de diferentes tipos de líneas sobre el papel se convertirá en el origen y la estructura del dibujo técnico.

Con la codificación científica de los sistemas de representación, la utilización de las variables gráficas quedó sometida a determinadas leyes reguladoras que se habían de cumplir; así, y a modo de ejemplo, en el libro dedicado a la geometría descriptiva de Cardona y Escarrabill citado anteriormente, en el apartado «Convenios acerca del dibujo en descriptiva» podemos leer:

Distinguiremos tres clases de líneas en general: líneas PRINCIPALES: las de dato y resultado, líneas de CONSTRUCCIÓN: todas las rectas y curvas que se emplean para pasar por medio de ellas, de los datos al resultado; y líneas PROYECTANTES: las que solo tengan por objeto indicar la relación de las proyecciones verticales y horizontales entre sí; también se las suele llamar de «correspondencia». Las líneas proyectantes se construirán siempre en el dibujo de línea cortada muy delgadita y a trazos pequeñitos que solo tengan la longitud suficiente para distinguirse de una línea de puntos. Las de construcción se dibujarán de trazo y punto [...]. Respecto a las líneas principales vistas se construirán de línea llena, delgadita las de dato y algo más gruesecitas las de resultado. Las ocultas se dibujarán de puntos redondos²⁵.

En los planos y dibujos del siglo XIX examinados, en lo referente al trazado y la simbología de las líneas se puede apreciar que, si bien todavía no estaban establecidos los tipos y los grosores de línea que se debían utilizar, sí existía una cierta uniformidad²⁶. Se trazaban líneas continuas, finas o gruesas, para la delineación de contornos y aristas vistas; líneas generadas por un punteado fino en el dibujo de contornos y aristas ocultas; líneas de trazo y punto; las de trazo y dos o tres puntos; líneas sinuo-



4.9. Utilización de diferentes tipos de línea: Construcción de una máquina para aserrar y cepillar simultáneamente tablitas delgadas de madera (AHOEPM, exp. 00778, 1880).

²⁵ B. CARDONA, 1865, libro I, art. v.

²⁶ En la actualidad la utilización de determinados tipos de línea tiene carácter normativo y se reduce a la siguiente clasificación: línea continua, discontinua, de trazo y punto, sinuosa y de trazo y doble punto; sus grosores, fino o grueso —en relación 1:2—, están regulados por la serie geométrica de razón $\sqrt{2}$: 0,18 0,25 0,35 0,5 0,7 1 1,4 2.

sas —más o menos abruptas— para indicar roturas o vistas parciales... Todas ellas se mostraban en los planos y se delineaban utilizando las nuevas plumas metálicas: las de Mitchell y Humboldt para caligrafía o las de Perry para dibujo, en sustitución de las antiguas plumas de ave²⁷. Consultada la voz *línea* en un tratado de 1887 sobre términos artísticos, vemos que alberga diversas entradas, y de ellas nos fijamos en la definición de *línea punteada*, que dice así:

Línea formada por una serie de puntos redondos o pequeños regularmente espaciados y que sirven para indicar en un plano, bien ejes, bien líneas invisibles, bien direcciones proyectadas, etc.²⁸

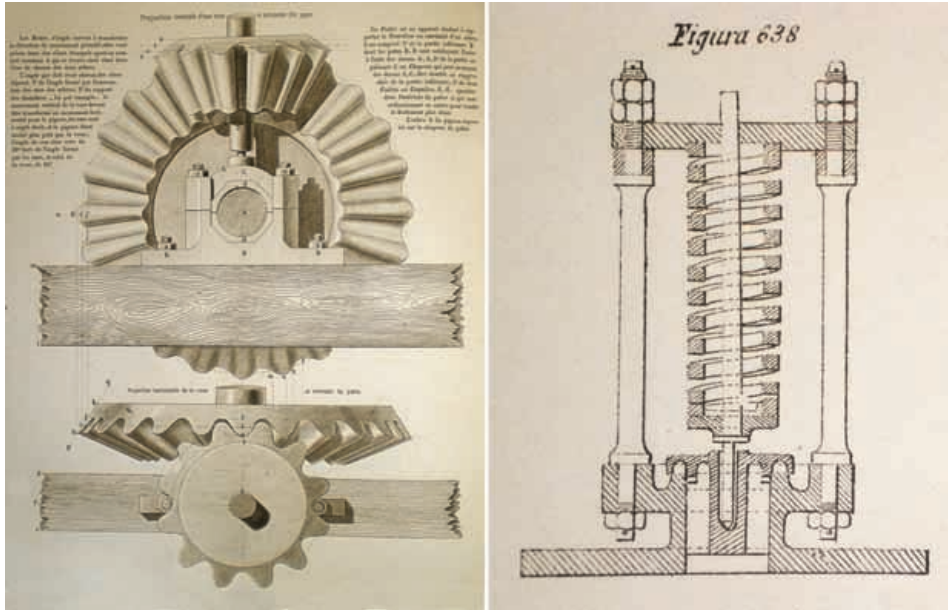
De los tipos que nombra dicho texto (*línea muerta u oculta, línea viva...*), el de *línea punteada* es el que más aplicaciones parecer tener.

Hasta bien entrado el siglo XIX no se implantaron los trazados a línea pura, ausentes de figuración, estableciéndose así con mayor claridad la frontera entre el dibujo artístico y el dibujo técnico o, más concretamente, el dibujo industrial. En cuanto al procedimiento de indicación de texturas, este no se limitaba únicamente a la imitación de la superficie real de los materiales (fig. 4.10.1) —madera, cuerda, etc.—, que progresivamente iba perdiendo presencia en los planos, sino que también se aplicaba convencionalmente en determinados casos que tal vez podríamos denominar *texturas gráficas*. Entre estos podemos citar como ejemplo los planos seccionados de diferentes piezas en la representación de un conjunto (fig. 4.10.2), la valoración de las sombras o la indicación de superficies de revolución.

Respecto a la utilización del color en los planos, tras el uso continuado y sistemático de los colorantes naturales en los planos lavados durante el siglo ilustrado y hasta bien entrado el XIX, se produjo una gran difusión de los nuevos colorantes sintéticos propios de la química industrial en expansión, tales como anilina, malveína, alizarina o fucsina, entre otros. La presencia en los planos de los nuevos esquemas geométricos, unida a la mayor premura exigida para las incipientes relaciones industriales y al abaratamiento de los costos fueron eliminando paulatinamente la idea del color ligada a la representación técnica. Sin embargo, aunque se iba evolucionando en el camino de la esquematización y del dibujo estrictamente lineal, bien es cierto que existen muestras que prueban la espléndida utilización, ya avanzado el siglo, de técnicas y métodos —como el lavado de planos— que, teóricamente, irían cayendo progresivamente en desuso. En esta línea, y a modo de ejemplo, en el año 1866 Máximo Borrell, en la tercera parte del *Tratado teórico y práctico de dibujo*, la dedicada al lavado, establecía determinados métodos prácticos para la imitación de las texturas reales de los materiales. Así, en el caso de la representación de la madera exponía la adecuada composición de tintas —carmín, azul de Prusia, tinta china,

²⁷ J. ZAPATER y J. GARCÍA, 1993, p. 35.

²⁸ J. ADELIN, 1887, p. 334.

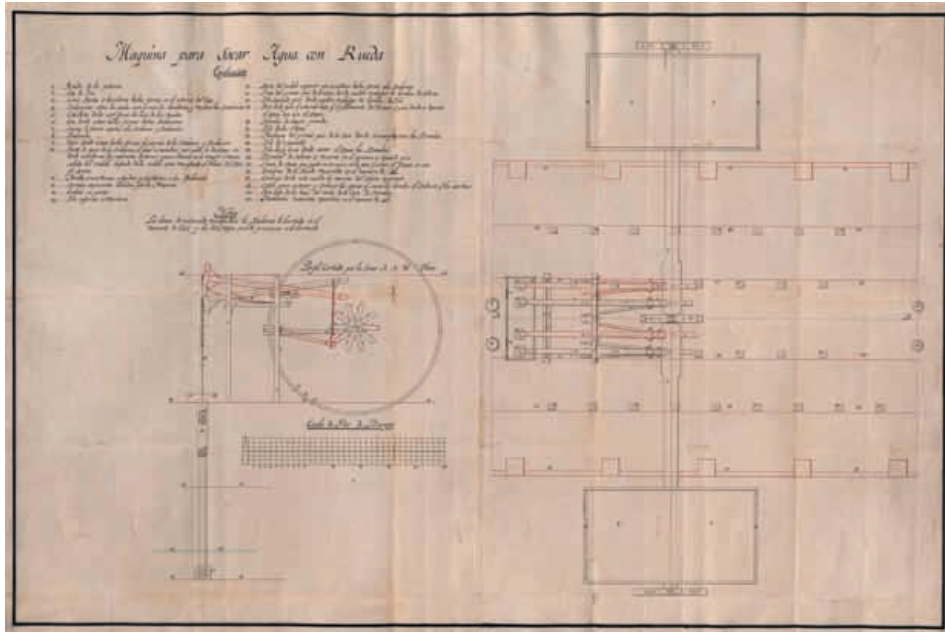


4.10. Representación realista de la textura propia del material, frente al trazado codificado de distintos rayados paralelos aplicados como textura gráfica diferenciadora de las piezas que conforman un conjunto mecánico: 1) A. LE BEALLE: Cours élémentaire théorique et pratique de dessin linéaire, 1890; 2) V. RUIZ: Lecciones de caminos de hierro, 1895.

siena— y los aditivos precisos, como la goma guta, para la correcta emulación de los diferentes tipos: pino, nogal, caoba o palo santo.

Ciertamente, se pueden encontrar tratados y colecciones de modelos de esmerada calidad elaborados con la técnica del lavado, los cuales, al parecer, influyeron decisivamente en las tendencias artísticas propias de la época —la pintura de la era industrial—, así como en los posteriores movimientos de vanguardia de comienzos del xx. Una más que evidente prueba de ello la podemos encontrar en determinadas obras de la época dadaísta del artista Francis Picabia, como *Machine tourne vite* o *Fille née sans mère*, obras de los años 1916 a 1918, con clara inspiración en algunos de los modelos recopilados por Stanislas Petit en su obra de 1870 *Le praticien industriel*.

Sin embargo, en determinados planos más esquemáticos sí se percibe la presencia del color como recurso de apoyo, no tanto para definir las propiedades cromáticas del material, sino a modo de código para el trazado de determinadas líneas con un significado preciso. Tal es el caso de la indicación de texturas, del conjunto de líneas relacionadas con la acotación —las propiamente de cota, las auxiliares de cota o las de referencia— o bien de aquellas líneas utilizadas para presentar posiciones alternativas en elementos móviles. En el plano que se muestra en la figura 4.11, se puede leer:



4.11. Utilización de líneas de diferente color como recurso codificado: Máquina para sacar agua con rueda (Domingo Espeliu, 1800, ref. 0131, Museo Naval de Madrid).

«Nota: Las líneas de Encarnado manifiestan la Balanza lebandada en el momento de caer, y las de Negro en el de precipiarse á lebandarla». Es una indicación precisa de un código cromático para señalar diversas posiciones de una parte de la máquina. Otros planos localizados en el mismo archivo también exhiben diferentes colores de línea, pero su significado no resulta tan evidente; puede tratarse de líneas o contornos ocultos o tal vez de reformas o actuaciones elaboradas posteriormente.

V.3. Presencia del lenguaje alfanumérico. El proceso de acotación

En un paso adelante, una vez representado y definido el objeto con la utilización de todos los sistemas y recursos gráficos, como vistas ortogonales, perspectivas, sombras, utilización del color, etc., el dibujo técnico genérico, y más aún el dibujo industrial, siempre ha necesitado el apoyo del lenguaje alfanumérico para su total expresión. El progresivo establecimiento de la representación técnica sintética estuvo vinculado a la implantación de leyendas aclaratorias del significado de los símbolos utilizados en los dibujos. Cuando los planos, mapas y dibujos eran auténticas composiciones pictóricas, las explicaciones —en ocasiones no incluidas en el plano, sino en forma de carta que lo acompañaba— se referían a las ventajas del uso del invento o al funcionamiento de los objetos representados, o tal vez servían para definir literalmente la nomenclatura de cada pieza o la denominación de las vistas componentes. En clara referencia a ello, en *Colección de signos convencionales para la*

*representación de los objetos de los planos y cartas*²⁹ se comenta la ausencia de una reglamentación específica referente a los signos y la escritura en planos y cartas. Se mencionan en sus páginas los trabajos publicados con anterioridad dedicados a este tema, entre ellos el *Tratado de castramentación* publicado por el oficial de ingenieros Vicente Ferraz en 1801, que contiene una breve *Cartilla de signos*; las *Ordenanzas del Cuerpo de Ingenieros*, de 1803; una instrucción publicada por el teniente de navío Andrés Baleato en 1826 dedicada al lineado, sombreado y lavado de planos y cartas; y por último se cita la *Cartilla de signos y letras* publicada por el Ministerio de la Gobernación en 1841. De ninguna de ellos hace alabanzas Sánchez Osorio, quien aboga por un intento de normalización con el propósito de formalizar un sistema de signos que recogiera lo necesario para constituir la escritura auxiliar de los planos técnicos³⁰.

En el capítulo XII de dicho texto, el dedicado a la «Escritura», el autor comienza exponiendo lo siguiente:

Nada sería tan embarazoso ni tan complicado en las aplicaciones como el querer dar reglas fijas para dirigir la escritura de los planos y cartas, en todos los casos particulares que puedan ocurrir, pues necesariamente debería hacerse depender entonces la escritura, no solo de las escalas, sino también de la relación de importancia de los objetos en el sentido al que se hubiesen subordinado en el plano o carta, y hasta de su forma o dibujo; naciendo aquí multitud de combinaciones que solo conducirían, con las restricciones que envolvieran, a servir de embarazo y confusión en las aplicaciones³¹.

En este mismo capítulo se establece que, con el fin de evitar tantas y tan variadas clases de letras como se usan en las cartas y conseguir uniformar completamente el dibujo, solo se deberían admitir tres clases de letra: «Mayúscula romana, Minúscula idem o Romanilla y Bastardilla». En cuanto a los tamaños de la letra, y ante la diversidad de escalas utilizadas en los planos, comentaba el autor la dificultad de organizar todos los casos posibles, pero aun así apuntaba la posibilidad de establecer una clasificación genérica para conseguir un cierto equilibrio dimensional.

Por otra parte, en el texto de Zapater³², en el capítulo IV, «Del dibujo y escritura a pluma», se señalan algunas reglas generales para la rotulación en las litografías. Realiza el autor un breve recorrido por las diferentes clases de escritura, entre las que cita la *escritura inglesa*, la *redondilla* —señalada como escritura francesa—, la *itálica* —«graciosa y elegante y parecida a la española»—, la *gótica*, la *quebrada* y la *española*, y fija exhaustivamente y con precisión las medidas y relaciones proporcionales que deben existir en cada letra y las distancias entre ellas.

²⁹ A. SÁNCHEZ, F. de ALBEAR y Á. RODRÍGUEZ, 1849.

³⁰ *Ibíd.*, pp. v-vii.

³¹ *Ibíd.*, p. 30.

³² J. ZAPATER y J. GARCÍA, 1993, pp. 53-67.

Como decíamos anteriormente, los dibujos asociados a descripciones escritas sobre ellos permiten, en general, superar los posibles problemas derivados de la ambigüedad o falta de claridad en su lectura. No obstante, un dibujo realizado con precisión debería proporcionar el conocimiento exacto de cada objeto representado en cuanto a sus dimensiones, materiales, acabados, relaciones entre las diferentes partes y, en particular en lo relativo a su funcionamiento. Mediante los sistemas de representación pueden darse a conocer todos los pormenores acerca de la configuración geométrica de una determinada pieza, e incluso, si se hace constar la escala —codificación dimensional por excelencia—, se conseguiría deducir sus dimensiones reales. No obstante, en este caso nunca estaríamos libres de aquellos errores que, de forma accidental, se hubieran producido en el trazado o en la reproducción del plano. Ello, unido al emergente simbolismo gráfico, hizo imprescindible la determinación y la inscripción de las medidas de los objetos, la denominada *acotación* del dibujo técnico, que, sin embargo, no se encontraba presente de manera sistemática en los planos y dibujos de ingeniería de la época. Cabe pensar que al irse generalizando el uso de las máquinas-herramientas, y con ellas los nuevos procesos productivos propios de la industrialización, se hiciera necesario cierto rigor en la definición de las piezas compositivas de las máquinas, y no únicamente desde el punto de vista geométrico, sino desde la tendencia a una acotación con criterios funcionales, de manera que se fuese indicando el procedimiento de fabricación del objeto, el acabado superficial requerido o las tolerancias de fabricación, alejándose gradualmente del modelo artesanal de épocas pasadas.

En cuanto a las recomendaciones sobre notaciones numéricas presentes en los planos, mencionaremos de nuevo el texto de Sánchez Osorio, en el que nos recuerda que «los números se sujetarán en lo posible a las bases análogas a las establecidas para la letra».

Tras la consulta de planos de la época, podemos observar que el proceso de acotación, aun haciéndose cada vez más complejo, no presenta, en general, criterios unificados en cuanto a los tipos de línea o la posición relativa de la cifra de cota. Sin embargo, en determinados aspectos sí que se advierte la presencia de ciertos convenios; quizá el más repetitivo es aquel que se producía cuando la línea de cota se trazaba con un tipo de línea fina continua, trazo y punto o dos puntos, o mediante un punteado fino; y, para evitar que diera lugar a confusión con otros significados posibles —contorno, aristas ocultas, etc.— se delineaba con tinta roja, al igual que la cifra de cota. Así pues, tras examinar diferentes dibujos y planos acotados, se advierte que el conjunto de líneas que formaba parte del proceso de acotación presentaba la más amplia variedad de tipos y combinaciones, los cuales serían regulados posteriormente en el proceso de normalización que comenzó a legitimarse a principios del siglo xx.

En lo referente a la regulación de escalas, desde principios del siglo xviii se habían elaborado diversas ordenanzas relativas a la utilización de escalas y unidades en los planos. Citaremos, por ejemplo, las primeras Ordenanzas del Cuerpo de Ingenieros, dictadas por Felipe V en 1718; las disposiciones establecidas por el conde de

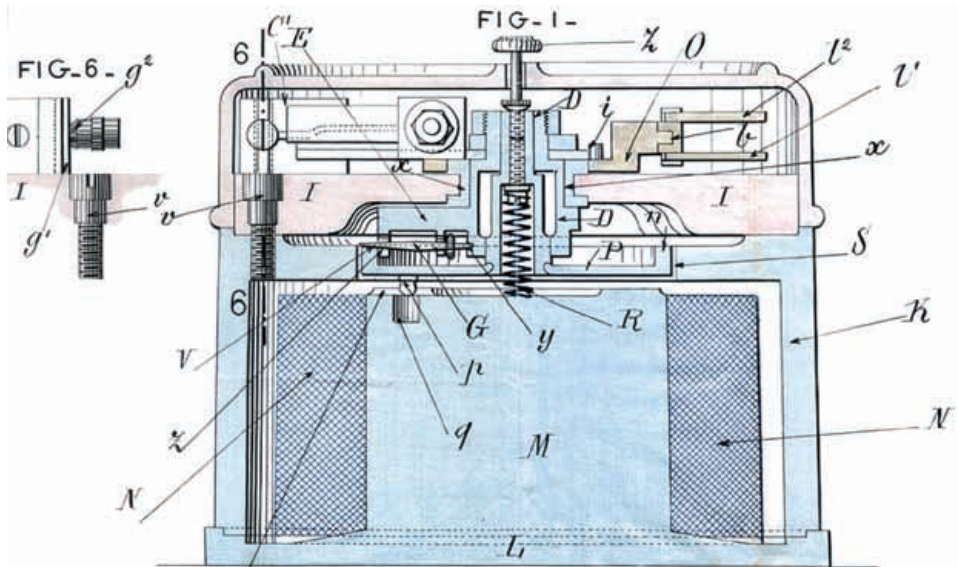
*Yndrid*³³, donde, sin premura, sin escatimar en detalles y con una contundente utilización del color se realizaba una descripción exhaustiva y precisa de ruedas dentadas, poleas, roscas, etc. Tras este período, sobrevino la etapa de los cambios en la concepción de la industria y en los procesos productivos, y es entonces cuando, en sentido opuesto a lo figurativo y ante lo extremadamente laborioso que resultaba la definición realista de estos objetos, comenzó a hacerse necesaria una simplificación gráfica sustancial, aquella que mediante sencillos trazados cargados de simbolismo, y con el apoyo imprescindible de la acotación, proporcionase una definición inequívoca de las características propias de los elementos mecánicos. Es ese momento de la representación en el cual, junto a ejemplos de exhaustiva descripción gráfica técnica de las partes compositivas de las máquinas, comienza a germinar la notación simbólica y esquemática propia del dibujo como artificio gráfico. Será más adelante, ya en el siglo xx, cuando la síntesis llegue a tal estadio que no sea necesario representar gráficamente en los planos apenas ninguno de los citados elementos, pues con una especificación cifrada referida a las normas en vigor ya quedarán totalmente definidos.

Pues bien, en el Ochocientos continúa la andadura hacia la abstracción en la descripción y la definición de los componentes mecánicos, aquellos que ya mencionaba uno tras otro Leonardo da Vinci en los *Códices Madrid* y que compilaron Lanz y Betancourt en los umbrales del siglo en el renombrado *Essai sur la composition des machines*³⁴. Aquellos elementos que, en torno a 1870, presentaron en sus textos y tratados autores como el ingeniero alemán Franz Reuleaux, que definía la máquina como «una combinación de partes resistentes, cada una de las cuales se especializa en una función y todas operan bajo el control humano, para utilizar la energía y realizar trabajos».

Antes del nacimiento de la ciencia asentada en los nuevos postulados geométricos, la forma de la máquina, entendida como el acoplamiento de sus piezas componentes, no era sino el resultado de la copia de otras máquinas existentes, de la imitación del mundo animal o incluso de la creación de máquinas nuevas con elementos de otras más antiguas. Sin embargo, a partir de las teorías mongianas la forma tendrá relación con su destino tecnológico. Como ejemplo relevante de los progresos en la precisión y la normalización que se introdujeron en la fabricación de máquinas herramientas durante el siglo xix se encuentran los trabajos del ingeniero mecánico británico Joseph Whitworth, quien en 1840 ideó un conjunto universal de especificaciones para el ángulo y el paso de las roscas de las tuercas y tornillos cuya adopción ha llegado hasta nuestros días. Si nos fijamos en la representación de algunos de estos elementos que aparece en los planos y en los tratados, podemos apreciar que al ir avanzando la centuria se va implantado dicha esquematización; así, los citados ele-

³³ Véase, por ejemplo, la fig. 0.12 del volumen III de esta colección (M. SILVA, 2006, p. 30).

³⁴ J. M.ª de LANZ y A. de BETANCOURT, 1996. Sobre su contexto, véase, por ejemplo, J. I. CUADRADO IGLESIAS y M. CECCARELLI: «El nacimiento de la teoría de máquinas y Betancourt», en el volumen III de esta colección (M. SILVA, 2006, pp. 131-181).

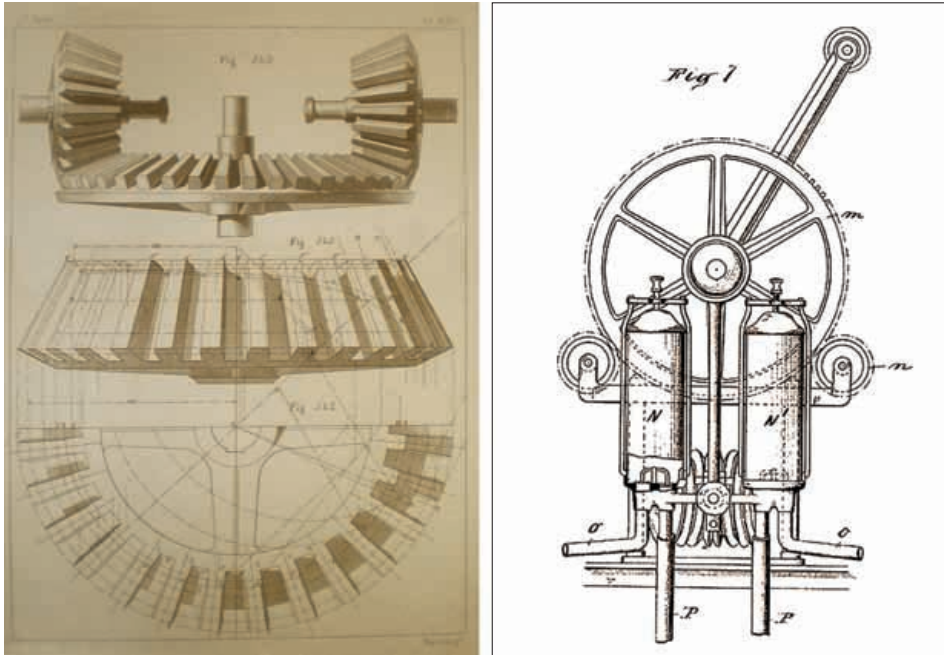


4.13. Evolución en la representación de elementos roscados: Un sistema de corta-circuito electromagnético automático denominado interruptor bipolar volta (AHOEPM, exp. 20040, 1896).

mentos roscados van abandonando progresivamente la determinación geométrica de la curva helicoidal y del perfil específico —triangular, redondo, cuadrado...— y en los planos de final de siglo se advierte ya una grafía más acorde con la especificación normalizada actual.

Asimismo, entre los elementos transmisores de movimiento, en particular del movimiento de giro, como ejes y árboles, ya se comentó en su momento la existencia del convenio gráfico según el cual no debían ser definidos mediante cortes longitudinales, salvo en aquellos casos en los que hubiera alguna singularidad en su interior que fuera necesario reseñar. Otros mecanismos, como los que producen una transformación de la velocidad angular, y de ellos los engranajes, los cilíndricos de ejes paralelos o los cónicos de ejes concurrentes, o tal vez de ejes que se cruzan como el tornillo sin fin y corona, van dejando atrás el perfilado de cada uno de sus dientes, rectos o helicoidales, hasta llegar a la máxima simplificación al ser sustituidos por circunferencias tangentes y envolventes mediante los tipos de línea estipulados. La representación del resto de elementos mecánicos participó también del proceso de esquematización de modo que todos ellos fueron mostrándose de manera ordenada en los planos y dibujos de despiece presentes, específicamente, en los atlas de los tratados más relevantes de divulgación científica.

Por último, no estaría de más reseñar un hecho importante que afectó de forma global al desarrollo industrial del siglo, y es el nacimiento de los llamados *números normales* o *números preferentes* ideados por el ingeniero militar francés del siglo XIX



4.14. Realismo vs codificación: 1) M. BORRELL, Tratado teórico y práctico de dibujo..., 1866; 2) Un aparato para ordeñar vacas (AHOEPM, exp. 13.424, 1892).

Charles Renard. Se trataba de valores convencionalmente ajustados de los términos de series geométricas compuestas de potencia del número 10 y que se designan abreviadamente con la letra R seguida de los índices de la raíz de cada serie (5, 10, 20, 40 y 80). El establecimiento de estos números en el proceso industrial constituyó un hecho fundamental en el citado siglo, pues la intención de aplicar dimensiones constructivas normalizadas favoreció, además de la intercambiabilidad, la reducción al mínimo del número de herramientas, dispositivos y calibres para la elección en las máquinas y aparatos industriales.

VI

LAS TÉCNICAS GRÁFICAS Y LOS MEDIOS MATERIALES

En cuanto al conjunto de técnicas de que se valían los científicos para representar sus proyectos o elaborar aquellos tratados de tanta presencia en el siglo, junto al dibujo propiamente de línea o a aquel acompañado del color, ya mencionados, concurrían determinadas técnicas con las cuales se hacía posible la obtención de una imagen impresa y repetible mediante una matriz entintada. Como bien es sabido, mientras que el Setecientos español fue un siglo eminentemente calcográfico, el XIX resultó

ser el siglo de la litografía. Esta última era una técnica —origen de procedimientos muy utilizados actualmente de reproducción y edición— que presentaba métodos adecuados, rápidos y de bajo coste para multiplicar originales. Para hacernos una idea somera del proceso a seguir acudiremos a la explicación que ofrece el *Diccionario del dibujo y la estampa* de la Calcografía Nacional³⁵.

El soporte sobre el que interviene el artista litógrafo en este procedimiento es una piedra calcárea, porosa, que tiene la capacidad de absorber tanto la grasa como el agua. Sirviéndose de un lápiz o de tinta de composición grasa, el artista efectúa un dibujo sobre la piedra una vez que su superficie ha sido convenientemente pulimentada y graneada o bruñida. La tinta o el polvo de lápiz grasos penetran en los poros de la piedra que coinciden con la zona dibujada. Si la superficie de la piedra se moja, el agua penetrará en los poros libres y será expulsada de los ocupados por la tinta debido al rechazo natural que existe entre el agua y la grasa. Por su naturaleza, el agua y la grasa se repelen, no se mezclan. Mediante un procedimiento químico conocido con el nombre de acidulación, se aplica sobre la piedra una capa de ácido nítrico mezclada con goma arábiga que permite fijar la zona dibujada y limpiar de grasa los poros de la zona libre, haciéndola más receptiva al agua. Para estampar el dibujo de la piedra basta humedecer esta y a continuación pasar un rodillo empapado en tinta grasa. La tinta solo penetrará en los poros ocupados anteriormente por el dibujo y será repelida de los poros donde esté el agua. La estampación litográfica es plana ya que la tinta se deposita en la superficie de la piedra, superficie que no ha sido rebajada en las zonas blancas ni tampoco incidida con instrumento alguno. El mismo proceso puede ser aplicado sobre otros tipos de soportes, en particular planchas metálicas de cinc —cincografía— o aluminio —algrafía—.

El descubrimiento de la litografía se debe al inventor alemán Alois Senefelder, quien en 1796 obtuvo las primeras estampas. Las posibles variedades que esta técnica comprende son el *grabado litográfico* y el *dibujo autográfico*, consistente, este último, en la transposición a la piedra de textos o dibujos trazados previamente en papel autográfico. Resultó ser de gran utilidad en materias científicas y se llevó a cabo principalmente para la reproducción de facsímiles³⁶.

Respecto al impacto que produjo esta técnica en España, tal y como nos explica Jesusa Vega³⁷, la litografía revolucionó las técnicas gráficas conocidas hasta el momento en nuestro país, lo cual se debió principalmente a su facilidad para la repetición de originales. Tras un período de formación en Múnich, los nombres de Carlos Gimbernat y Bartolomé Sureda, en primer lugar, y el de José María Cardano, algunos años después, figuraron entre los pioneros en la utilización de la litografía en España. La intención de Gimbernat, vicedirector del Real Gabinete de Historia Natural, era la de instalar en España un taller en el que utilizar la nueva técnica como medio

³⁵ J. BLAS *et al.*, 1996, p. 123-124

³⁶ C. LIDÓN, 2005, p. 249.

³⁷ J. VEGA, 2000, pp. 171-196.

de reproducción científica; como resultado y con Cardano al frente de la dirección se inauguró en Madrid, en 1818, el primer establecimiento litográfico de España, creado para la gestión y el tratamiento de mapas, cartas y planos. Fue el mismo Cardano quien mostró a Francisco de Goya la nueva técnica³⁸, al igual que había hecho Sureda con aquellas otras de grabado en cobre que el artista aragonés utilizó magistralmente en la elaboración de sus *Caprichos*. A este taller madrileño le siguieron otros, como el fundado ese mismo año por el editor Antonio Brusi en Barcelona o la imprenta litográfica instalada en Tolosa en 1821.

Una vez conocidas las técnicas y los recursos gráficos empleados se hará un repaso de los medios físicos con los que se contaba para materializar las ideas. Entre ellos cabe citar el papel, las tintas y determinados instrumentos de medición y de dibujo.

Tras el empleo generalizado durante el siglo XVIII de los papeles de trapos, opacos y de alto gramaje, llegaron a nuestro país, ya entrado el XIX, algunas creaciones extranjeras que trajeron consigo importantes novedades en la producción de papel. Uno de estos inventos, el de la primera máquina continua —máquina Fourdrinier o de tabla plana— establecida tardíamente en España, entre 1836 y 1840, constituyó junto a la introducción del proceso de trituración de madera —sustituta del trapo— para fabricar pulpa, uno de los mayores acontecimientos que se produjeron en la industria papelera. Además de los papeles opacos se utilizaban otros que por ser transparentes resultaban adecuados para calcar los dibujos; nos referimos al papel serpenteado, el papel vegetal, el de aceite, el barnizado o el papel tela. Su fabricación tuvo gran importancia hasta que surgieron con ímpetu los nuevos procedimientos de reproducción de planos, como aquel en el que se utilizaba el denominado *papel al ferro-prusiato* o *papel Marion*, el cual prestó muy útiles servicios a ingenieros y arquitectos proporcionando planos de aquel característico color azul³⁹.

En el tratado del siglo XIX *Vocabulario de términos de arte*, ya citado anteriormente, podemos encontrar la definición y los usos recomendados de varios tipos de papeles y sus formatos habituales: *gran águila*, 1,03 × 1,6 m; *gran mundo*, 1,94 × 1,87 m; *gran palomar*... Señala asimismo el citado texto que el papel en rollo, dióptrico, blanco o de grano, que medía habitualmente 10 m de longitud por 1,10 o 1,50 de ancho, era utilizado para los dibujos de arquitectura y de máquinas⁴⁰.

En lo referente al uso de las tintas, hasta finales del siglo XVIII los impresores preparaban las tintas para su propio consumo a partir de componentes naturales; fue a comienzos del nuevo siglo cuando se inició la primera fabricación industrial en un molino situado en las cercanías de París. La introducción del procedimiento litográfico constituyó un nuevo impulso para la formulación de las tintas, que se adecuaron a un sistema de impresión basado en el rechazo materia grasa y agua. Fue a partir del

³⁸ A. BONET, 1991, pp. 76-77.

³⁹ I. GONZÁLEZ TASCÓN, 1992, pp. 66-70.

⁴⁰ J. ADELIN, 1887, pp. 401-402.

descubrimiento de la anilina en 1826 cuando se desarrollaron nuevas composiciones de tinta de naturaleza no grasa por disolución de colorantes sintéticos en alcohol, como la tinta de alizarina y la de vanadio.

En cuanto al conocimiento y manejo de los instrumentos de dibujo y medición, con la creación de las escuelas técnicas a lo largo del siglo se publicaron numerosos textos relativos a la delineación; así, en alguno de ellos podemos leer lo siguiente:

Los instrumentos más indispensables para la delineación son: un tablero, un juego de reglas, un estuche o compás de piezas, lápiz, tinta de China, un platillo, cola de boca, una esponja y goma elástica⁴¹.

El tablero, generalmente era de pino; las reglas y plantillas, de madera de peral, de metal o de vidrio; el lápiz, de grafito o de mina de plomo, mejorado por Conté en 1790 con la elaboración de un conglomerado de polvo de grafito y arcilla, era denominado *lapicero de madera o lápiz compuesto*; el carboncillo, obtenido mediante la combustión lenta de bastoncillos de madera que con el aditivo de goma arábica prolongaba su duración; las reglas paralelas para el trazado de las líneas del mismo nombre, un ejemplo de las cuales se encuentra representado en la plancha número 1, figuras D1 y E1 del texto de Lanz y Betancourt *Ensayo sobre la composición de las máquinas*. Las imágenes F1 y G1 de la misma litografía muestran instrumentos destinados igualmente a asegurar el desplazamiento de una línea conservando su paralelismo⁴²; estas últimas no reflejan pequeños instrumentos presentes en los estuches de matemáticas, sino determinados aparatos para utilizar en aplicaciones industriales y que a la vista parecen antecedentes directos de las actuales reglas deslizantes. Con la misma intención, para el correcto trazado de líneas paralelas, se utilizaba con frecuencia una regla llamada *mutetilla*, la cual poseía en uno de sus extremos una especie de apoyo que se deslizaba a lo largo del tablero y permitía el trazado en todas las direcciones.

Igualmente, haciendo referencia a los instrumentos de dibujo necesarios para el trazado de perspectivas axonométricas, en un texto de 1867 citado con anterioridad podemos leer lo siguiente:

La perspectiva isométrica se emplea principalmente para la representación de los productos de la industria, en los cuales ocurre con frecuencia tener que dibujar engranajes y círculos [...]. Para el trazado de las elipses isométricas se hace uso de un instrumento llamado elipsógrafo que es una especie de compás elíptico [...]. Para hacer más sencillo el dibujo de los engranajes, se han construido «transportadores isométricos», análogos a los transportadores circulares. El transportador isométrico es una semielipse, cuyos ejes son entre sí $\sqrt{3}:1$ y cuyas dimensiones corresponden a grados o medios grados del círculo de que ella es proyección. En esta elipse están trazados los dos semidiámetros conjugados iguales, que corresponden a las direcciones de las dos aristas isométricas de su plano⁴³.

⁴¹ L. PEREDA, 1869, pp. 5-7.

⁴² J. M. de LANZ y A. de BETANCOURT, 1996, pp. 22-23.

⁴³ A. SÁNCHEZ TIRADO, 1867, p. 19.

En una reflexión sobre la conveniencia o no de la utilización de las máquinas e instrumentos de dibujo, Gaspard Monge abogaba por una descripción científica de los objetos auxiliada por la geometría y por la precisión de los artilugios de obtención de imágenes:

necesitamos en primer lugar dirigir la educación nacional hacia el conocimiento de los objetos que exigen exactitud, lo que hasta nuestros días se ha descuidado en un todo, y acostumbrar las manos de nuestros artistas al manejo de todo género de instrumentos que enseñan a trabajar con precisión⁴⁴.

En la historia de las máquinas e instrumentos de dibujo, desde que en época renacentista Alberti en su tratado *De pictura* mostrara un método práctico de su invención —el velo— para ejecutar la perspectiva lineal, surgieron muchos otros artefactos de la relación entre el arte y la tecnología que durante siglos han auxiliado al artista en la consecución de sus obras. Desde su aparición, y basados igualmente en el concepto de sección del cono visual de Euclides, fueron surgiendo otros aparatos destinados a facilitar los trazados perspectivos; entre ellos recordamos el cristal —o la ventana— de Leonardo da Vinci, el porticón —o portillo— de Alberto Durero, todo tipo de compases de las diferentes épocas, el perspectógrafo de Jacopo Barozzi da Vignola, la escuadra inventada por Ludovico Cardi —llamado *Cigoli*—, los pantógrafos de Christopher Scheiner y Johann Heinrich Lambert o el optógrafo de Jesse Ramsden. Sin embargo, una de las máquinas más influyentes a lo largo de la historia fue la cámara oscura, con antecedentes desde el siglo x y que había encontrado su punto álgido en el Renacimiento. Durante el xix, y como evolución de la anterior, un nuevo instrumento —la cámara lúcida— constituyó uno de los hitos más importantes dentro de la historia de las máquinas de dibujar. Inventado y patentado por el físico William Hyde Wollaston en 1804, este artilugio basaba su funcionamiento en la reflexión sobre un prisma de vidrio de forma que la imagen reflejada en un papel pudiera ser recorrida en sus líneas y contornos. Tras el invento de Wollaston se fueron sucediendo otros instrumentos derivados de aquel, como las cámaras lúcidas de Abbe y Amici, el prisma de dibujo de Nacet, el instrumento de dibujo de Abraham o el espejo gráfico de Alexander⁴⁵. Por otra parte, una nueva variante de la cámara lúcida, la cámara clara universal, presentaba la posibilidad de efectuar dibujos invertidos, aplicación que resultaba una gran ventaja sobre el resto de las máquinas para la elaboración de los grabados tradicionales.

En cuanto a los aparatos empleados en la técnica litográfica destacaremos todos aquellos que se muestran en la única ilustración presente en el *Manual de litografía* de Zapater y que son, entre otros, el compás de bomba y de reducción, el aparato de Loire —para ampliación y reducción de todas clases—, el tiralíneas, las reglas, las

⁴⁴ G. MONGE, 1996, pp. v-vi.

⁴⁵ J. J. GÓMEZ MOLINA *et al.*, 2002, p. 341.

escuadras y plantillas de curvas de peral, una piedra cándida para afilar, la escala proporcional, la cuadrícula, el diágrafo y el pantógrafo⁴⁶.

En referencia a este último aparato, el pantógrafo, en un texto dedicado exclusivamente a sus características y uso se especifica cómo «este instrumento sirve para facilitar la reducción o ampliación de un dibujo cualquiera y para determinar el valor superficial del área de plano comprendida por una línea cerrada»⁴⁷.

Ya para finalizar quedaría por recordar de nuevo, junto a los grandes inventos del siglo, un hecho incomparable del que fue testigo el Ochocientos: el nacimiento de la fotografía. Partiendo de la herencia renacentista —la cámara oscura, la perspectiva monocular y la óptica— la fotografía como *nueva técnica* y la cámara fotográfica como *instrumento* produjeron un nuevo tipo de imágenes con gran presencia a partir de entonces en toda clase de publicaciones. En una línea aparentemente innovadora, el teórico y crítico de arte británico John Ruskin (1819-1900) recomendaba, en una exposición carente de prejuicios, el uso del método del cristal —el «vidrio» de Leonardo— junto a la fotografía como registro de apoyo con la intención de superar las dificultades del dibujo en perspectiva, auténtica obsesión para aquellos tratadistas que desde su invención en el Renacimiento no renunciaron a representar de forma científica la realidad tal y como se mostraba ante sus ojos⁴⁸. Curiosamente, se trataba del mismo Ruskin que ante la inclusión de la imagen mecanomórfica en la pintura del siglo XIX querría «lavar a la humanidad de la mancha del paisaje industrial»⁴⁹.

VII

CONSIDERACIONES FINALES

En el largo camino recorrido por la representación gráfica de la máquina a lo largo de los siglos como sujeto activo de la tecnicidad, deteniéndose a reflexionar en las diferentes épocas, canonizando principios de uso intuitivo y elevándolos a categoría de preceptos o reglas, o bien articulando los cambios como cuerpos de doctrina indispensables en la evolución tecnológica, parece evidente que el dibujo de máquinas ha ostentado una posición preponderante dentro del complejo entramado del maquinismo. No cabe pensar en los avances industriales del siglo XIX sin la aplicación de la geometría descriptiva a la ciencia de las máquinas, unificando los criterios a la hora de plasmar en un plano los logros del siglo; y tampoco cabe pensar en cómo habría de estructurarse a su vez dicha disciplina sin la base previa de la geometría métrica y la geometría proyectiva.

⁴⁶ J. ZAPATER y J. GARCÍA, 1993, pp. 63-65.

⁴⁷ E. GUALLART, 1895.

⁴⁸ L. CABEZAS, 1992, pp. 104-105.

⁴⁹ M. LE BOT, 1979, p. 82.

Hasta el XVIII la representación de las máquinas había sido en gran parte escenificada, englobada en el mundo de la figuración. Es en ese siglo cuando irrumpen sistemáticamente los registros técnicos dentro del espacio gráfico, el mismo que hasta ese momento ocupaba principalmente el acontecer artesanal; la fábrica o el taller se mostraban como un teatro en el que se representaba la actividad. Es a partir del XIX cuando comienzan a distanciarse definitivamente la representación técnica sintética de la representación artística, la destinada a los museos y la que ilustraba las publicaciones nacidas como crónica de la actualidad presentes en el citado siglo: *El Museo Universal*, *La Ilustración Española y Americana*, etc.

El dibujo de máquinas va más allá del campo meramente descriptivo del objeto, pues posee de alguna manera una intencionalidad dentro del proceso productivo. Y, debido a ello, a esa intencionalidad, el escalón adecuado para su estudio probablemente sea el del *Análisis iconográfico*, aquel que requiere un conocimiento previo de las fuentes y una familiaridad con temas y conceptos específicos. Según explica Erwin Panofsky en *El significado en las artes visuales* e intentando trasladarlo al campo de nuestro estudio, estableceremos el siguiente ejemplo: ante un plano de una máquina del siglo XIX, en un nivel primario, el de una *descripción preiconográfica*, tal vez la única definición posible sería la de un *dibujo técnico* o quizá un *dibujo técnico mecánico*; mientras que en el nivel de un *análisis iconográfico*, tras la observación del grado de codificación geométrica alcanzado, las convenciones formales y el tipo de técnica gráfica utilizada, se podría afirmar con total seguridad que se trata de la representación técnica de una máquina de la época de la industrialización. Asimismo, mediante el análisis de los elementos descritos en dicho plano podrá averiguarse de qué tipo de máquina se trata, y el saberlo permitirá establecer relaciones con el progreso tecnológico propio de la Revolución Industrial. Probablemente, el avance al siguiente nivel, el de una *interpretación iconológica* o, como lo expresa Panofsky, una *iconografía interpretativa* no resultaría factible en nuestro caso, pues en virtud de los adjetivos *técnico* y *codificado*, propios del dibujo industrial se eliminan, de alguna manera, los componentes de subjetividad, irracionalidad e intuición, inherentes a la *iconología* como método de interpretación que procede más de la síntesis que del análisis.

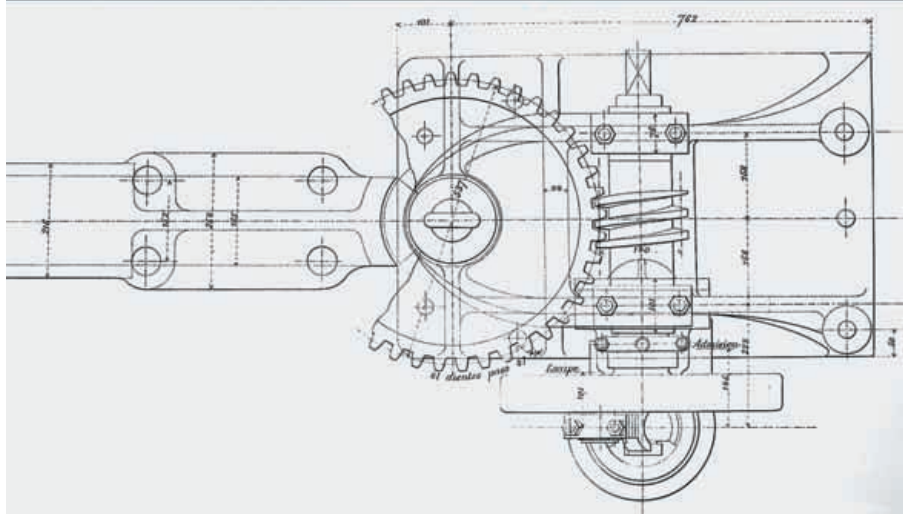
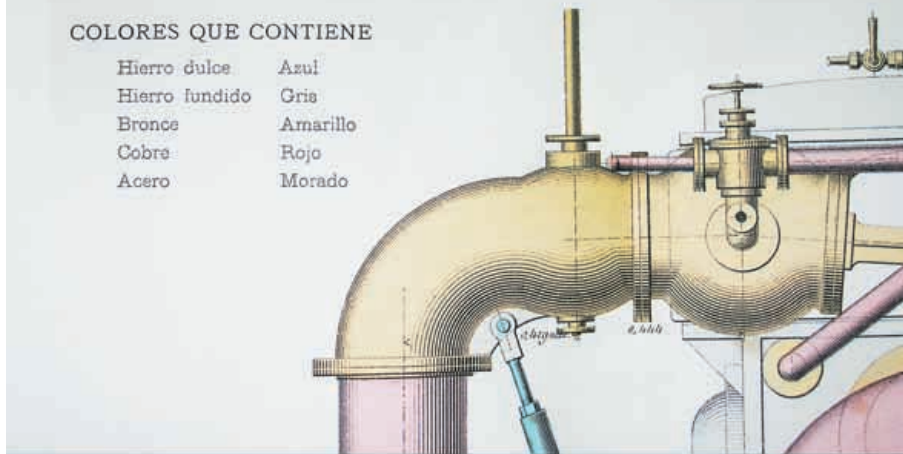
Sin embargo, la posibilidad de establecer un análisis iconográfico correcto no es tan evidente como pudiera parecer en un principio, y ello es debido a que en dicho momento del dibujo de máquinas los códigos gráficos no estaban plenamente articulados. Mientras que en los trazados de los científicos ilustrados resultaban incuestionables todos y cada uno de los elementos presentes en la representación técnica, generalmente hiperrealista, en el nuevo siglo, a través del proceso de selección y filtrado del dibujo ya comentados con anterioridad, el reconocimiento de los motivos puede adquirir varios significados, las líneas no tienen todavía una única definición, los códigos de color aún no son homogéneos, etc.

El siglo XIX ha asistido a una importante reducción figurativa de la representación técnica con el consiguiente aumento de la operatividad. Como señala el profesor Uría,

PORTILLA, WHITE y C[^]
Sèvilla .

COLORES QUE CONTIENE

Hierro dulce	Azul
Hierro fundido	Gris
Bronce	Amarillo
Cobre	Rojo
Acero	Morado



4.15. Apretada síntesis de la evolución en el dibujo de la máquina en el Ochocientos: Representaciones posiblemente condicionadas por el cliente, la Marina, en el primer supuesto se parte de una figuración cercana a la llevada a cabo durante el siglo ilustrado. Dotado de un cierto carácter artístico y temprana codificación, se trata de un dibujo provisto de códigos cromáticos identificadores del material y sombras constituidas, según las indicaciones de Monge, mediante el trazado de las líneas de curvatura propias de cada superficie. Progresivamente se llega a alcanzar una representación lineal, técnica, acorde con el siglo de la industrialización y caracterizada por el abandono progresivo de la figuración, como antesala del lenguaje gráfico normalizado propio de la ingeniería industrial.

1) Detalle de un plano con el código de colores en el atlas con las Máquinas y calderas de 1.500 caballos con destino a los cruceros de 3.^ª clase Isabel II y D. Antonio Ulloa, realizadas por Portilla, White y Cía., Sevilla (motorización contratada en septiembre de 1885); 2) Piezas del cambio de marchas del Atlas de máquinas y calderas de triple expansión de 9.400 caballos indicados con tiro natural y 13.700 con tiro forzado del crucero Vizcaya, Astilleros del Nervión, Bilbao, 1894, 2v. Ambos álbumes (de similares características) fueron litografiados e impresos por Auto. Imp. L. Curtier, París. (Biblioteca de la ETSI Navales, UPM).

en esa posición central que ocupa el dibujo entre la imitación y la abstracción, el exceso figurativo da lugar a una seducción gráfica no apoyada, en muchos de los casos, en una verdadera información.

Los aspectos artísticos ya no volvieron a convivir en la representación con los aspectos técnicos y funcionales. En cuanto a los primeros, «este es, pues, el nuevo programa estético: que los paisajistas descubran nuevos lugares míticos para la leyenda de la industria, que hagan el inventario de los nuevos objetos que los pueblan: las máquinas; en fin que el pintor represente los nuevos demiurgos, héroes o condenados de la epopeya moderna»⁵⁰. Por otra parte, los registros técnicos continuaron su evolución para culminar en la racionalización de las primeras décadas del siglo xx. Mediante este hecho, que dio en llamarse *normalización gráfica*, todos aquellos preceptos canónicos que se fueron asentando a lo largo de las centurias precedentes después de un prolongado uso intuitivo, se estructuraron entonces con la clara intención de simplificar los trazados y dar valor universal a su interpretación, y todo ello con miras a reducir costos y favorecer la intercambiabilidad en la industria.

BIBLIOGRAFÍA

- ADELIN, J.: *Vocabulario de términos de arte*, traducido y aumentado con más de 600 voces y anotado por José Ramón Mélida, Madrid, La Ilustración Española y Americana, 1887.
- ADHÉMAR, J. A.: *Traité de géométrie descriptive*, París, Armand Colin & Cie., 1873.
- *Cours de mathématiques à l'usage des architectes, ingénieurs civils, etc. Applications de géométrie descriptive: ombres*, París, Armand Colin & Cie., 1874.
- AGOSTINO, C.: *Corso teorico-pratico ed elementare di disegno axonometrico applicato specialmente alle macchine: ad uso delle scuole di disegno univervitarie degli istituti tecnici e degli operai, per l'ingegnere Cavallero Agostino*, Turín, Tipografia Letteraria, 1861.
- APARICI Y PUIG, R.: *Lecciones de geometría descriptiva*, Madrid, Gutenberg, 1884, 2 vols.
- ARMENGAUD, C.: *Cours de dessin linéaire appliqué au dessin des machines, dédié aux écoles industrielles*, París, Librairie Scientifique-Industrielle de L. Mathias, 1840.
- ARMENGAUD, J. E.: *Nouveau cours raisonné de dessin industriel*, París, Librairie Scientifique-Industrielle de L. Mathias, 1848, 2 vols.
- BATAILLE, E. M., y C. E. JULIEN: *Traité des machines à vapeur*, atlas, París, Librairie Scientifique-Industrielle de L. Mathias, 1847-1849.
- Betancourt: los inicios de la ingeniería moderna en Europa*, catálogo de exposición, Madrid, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996.

⁵⁰ *Ibíd.*, p. 78.

- BLAS, J. (COORD.), A. CIRUELOS y C. BARRENA: *Diccionario del dibujo y la estampa: vocabulario y tesoro sobre las artes del dibujo, grabado, litografía y serigrafía*, Madrid, RABASF, Calcografía Nacional, 1996.
- BOIX, F.: «La litografía y sus orígenes en España», discurso leído en la RABASF el día 8 de noviembre de 1925 (contesta Luis Menéndez Pidal), Madrid, *Arte Español, Revista de la Sociedad Española de Amigos del Arte*, n.º 8 (1925), pp. 279-320.
- BONET CORREA, A.: «Origen de la litografía en España», Madrid, *Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando*, n.º 73 (2.º semestre de 1991), pp. 73-77.
- F. MIRANDA y S. LORENZO: *La polémica ingenieros-arquitectos en España, siglo XIX*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos / Turner, 1985.
- BORRELL, M.: *Tratado teórico y práctico de dibujo con aplicación a las artes y a la industria*, Madrid, Imprenta y Estereotipia de M. Rivadeneira, 1866, 3 vols..
- CABEZAS, L.: «La revolución del arte del dibujo», en *El dibujo: belleza, razón, orden y arteificio*, Zaragoza, DPZ / Fundación Mapfre Vida, 1992, pp. 113-114.
- CARDONA y ESCARRABILL, B.: *Atlas de geometría descriptiva y de sus principales aplicaciones al dibujo de proyectos, sombras, perspectiva, cortes de piedra y de madera, de hierro, etc.*, Barcelona, Establ. Tipogr. de Jaime Jepús, 1865.
- DEFORGE, Y.: *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*, Seyssel, Champ Vallon, 1981.
- DUPIN, C.: *Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes: curso normal para el uso de los artistas y menestrales, y de los maestros y veedores de los talleres y fábricas. Explicado en el Conservatorio Real de Artes y Oficios por [...], miembro del Instituto, oficial superior del Cuerpo de Ingenieros de Marina, oficial de la Legión de Honor y caballero de San Luis. Traducido al castellano de orden del rey nuestro señor por don Juan López Peñalver de la Torre, del consejo de S. M. y su secretario honorario*, tomo I: Contiene la geometría. Texto y 8 láminas, Madrid, Impr. de José del Collado, 1830; tomo II: Contiene la mecánica. Texto y 8 láminas, Madrid, Impr. de los Herederos de Collado, 1835.
- DURAND, J.-N.-L.: *Compendio de lecciones de arquitectura: parte gráfica de los cursos de arquitectura, siglo XIX*, Madrid, Pronaos, 1981.
- FARISH, W.: «On isometrical perspective», *Transactions of Cambridge Philosophical Society*, vol. I, Cambridge University Press, 1822, pp. 1-20.
- GOMBRICH, E. H.: *La imagen y el ojo, nuevos estudios sobre la psicología de la representación pictórica*, Madrid, Alianza, 1987.
- GÓMEZ MOLINA, J. J., et al.: *Máquinas y herramientas de dibujo*, Madrid, Cátedra, 2002.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I.: *Ingeniería española en ultramar (siglos XVI-XIX)*, Madrid, CEHOPU / CEDEX / MOPT / Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1992.
- GUALLART ELÍAS, E.: *Pantógrafo-planímetro*, Madrid, Ricardo Rojas, 1895.
- HENRY, J. B. des V.: *Elementos de dibujo lineal: geometría y agrimensura: dispuestos para todos los sistemas de enseñanza, revisados por Thenot*, Madrid, Vda. de Poupart, 1863, 5.ª ed.

- IRIARTE, C. de: *Topografía fotográfica, o sea aplicación de la fotografía al levantamiento de planos*, Madrid, Tipolitografía Raoul Péant, 1899.
- LANZ, J. M.^a de, y A. de BETANCOURT: *Ensayo sobre la composición de las máquinas*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1996, ed. facs. de la 1.^a ed. francesa de 1808, ed. facs. de la 1.^a ed. inglesa de 1820, trad. española.
- LE BEALLE, A.: *Cours élémentaire théorique et pratique de dessin linéaire lavis et ornement*, París, Imprimerie et Libraire Classiques de Jules Delalain, 1890.
- LE BLANC: *Choix de modèles appliqués à l'enseignement du dessin des machines*, París, Malher et Cie., 1830.
- LE BOT, M.: *Pintura y maquinismo*, Madrid, Cátedra, 1979.
- LEÓN CASAS, M. Á., J. C. de SAN ANTONIO, V. P. ALDAYA y C. LEÓN: «El sistema de planos acotados: introducción, evolución y su difusión en España», en *Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Badajoz, 2001.
- LEROY, C. F. A.: *Traité de géométrie descriptive, suivi de la méthode des plans cotés et de la théorie des engrenages cylindriques et coniques*, París, Mallet-Bachelier, 1855, 2 vols.
- LIDÓN, C.: *La litografía industrial en el norte de España de 1800 a 1950: aspectos históricos, estéticos y técnicos*, Gijón, Trea, 2005.
- Máquinas*, catálogo de exposición, Centro Atlántico de Arte Moderno, Las Palmas de Gran Canaria / Palma, Fundación «La Caixa» / Ediciones del Umbral, 2000.
- MONGE, G.: *Geometría descriptiva*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1996, ed. facs.
- NIETO-GALÁN, A.: *La seducción de la máquina. Santponç, Monturiol, Isaac Peral: vapores, submarinos e inventores*, Madrid, Nivola, 2001.
- Origen de la litografía en España: el Real Establecimiento Litográfico*, catálogo de exposición, Madrid, Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, 1990.
- PANOFSKY, E.: *El significado en las artes visuales*, Madrid, Alianza, 1983a, 3.^a ed.
— *La perspectiva como forma simbólica*, Barcelona, Tusquets, 1983b, 4.^a ed.
- PARDO CANALÍS, E.: *El Real Establecimiento Litográfico*, Madrid, Ayuntamiento, 1973.
- PEREDA Y LÓPEZ, L.: *Tratado elemental de delineación, perspectiva y sombras*, Madrid, Imp. J. E. Morete, 1869, 2.^a ed.
- PERRAULT, C.: *Compendio de los diez libros de arquitectura de Vitruvio. Escrito en francés por [...]. Traducido al castellano por don Joseph Castañeda*, Madrid, Impr. de Gabriel Ramírez, 1761.
- PETTIT, S.: *Le praticien industriel: recueil de nouveaux modèles élémentaires de dessin au lavis à plusieurs couleurs appliqués à la mécanique et à la construction*, París, Monrocq frères, 1870.
- PLANELLA Y COROMINA, J.: *Exposición completa y elemental del arte de la perspectiva y aplicación de ella al palco escénico, por [...], pintor escénico, individuo de la sociedad de fomento de la ilustración y de la del liceo filarmónico-dramático barcelo-*

- nés de S. M. D.^a Isabel II. Texto y 100 láminas*, Barcelona, Impr. de Joaquín Verdguer, 1840.
- REBOLLEDO, J.: *Construcción general, por [...], ingeniero jefe y profesor de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos*, Madrid, Impr. y Fundación de J. A. García, 1875.
- REMOLAR, E.: *Ensayo sobre el pantógrafo: instrumento utilísimo a los dibujantes, grabadores, litógrafos, pintores, ingenieros y demás artistas para copiar*, Madrid, Imprenta de Palacios, 1834.
- RIGALT, L.: *Álbum enciclopédico-pintoresco de los industriales*, Murcia, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 1984.
- ROSSI, P.: *Los filósofos y las máquinas, 1400-1700*, Barcelona, Labor, 1965.
- ROVIRA, A.: *Teoría de las sombras, puntos y líneas brillantes y degradación de tintas*, Barcelona, Impr. de la Casa Provincial de Caridad, 1890.
- RUIZ, V.: *Lecciones de caminos de hierro*, atlas, Madrid, Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1895.
- SAINZ, J.: *El dibujo de arquitectura: teoría e historia de un lenguaje gráfico*, Madrid, Nerea, 1990; Madrid, Reverté, 2005, ed. corr. y aum.
- SAN ANTONIO, C. de.: «La representación gráfica: historiografía y contemporaneidad de un concepto», en *Actas del VII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Pontevedra, Diputación, 1995, t. II.
- SÁNCHEZ OSORIO, A., F. de ALBEAR y Á. RODRÍGUEZ ARROQUÍA: *Colección de signos convencionales para la representación de los objetos en los planos y cartas*, Madrid, Imprenta Nacional, 1849.
- SÁNCHEZ TIRADO, A.: *Perspectiva axonométrica, isométrica y fantástica o libre (cavalier)*, ms., 1867.
- SILVA SUÁREZ, M. (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, vol. I: *El Renacimiento*, 2004 (2.^a ed., revisada y aumentada, *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular*, 2008); vol. II: *El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación*, 2005; vol. III: *El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal*, 2005; vol. IV: *El Ochocientos. Pensamiento, profesiones y sociedad*, 2007; vol. V: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, 2007.
- TORROJA Y CABALLÉ, E.: *Axonometría o perspectiva axonométrica: sistema general de representación geométrica que comprende, como casos particulares, la perspectiva caballera y militar, la proyección isográfica y otros varios*, Madrid, Imprenta de Fortanet, 1879.
- URÍA, L.: «Reflexiones sobre el dibujo “no asistido”», en *El taller del arquitecto: dibujos e instrumentos. Salamanca, 1871-1948*, Salamanca, Caja Duero / Colegio Oficial de Arquitectos de León-Delegación de Salamanca, 2001.
- VALDÉS, N.: *Manual del ingeniero y arquitecto: resumen de la mayor parte de los conocimientos elementales y de aplicación en las profesiones del ingeniero y arquitecto, comprendiendo multitud de tablas, fórmulas y datos prácticos para toda clase de construcciones, y por separado un atlas de 133 láminas, por el coronel retirado*

- de ingenieros [...], miembro corresponsal de la Academia de Ciencias de Madrid*, Madrid, Impr. de Gabriel Alhambra, 1870, 2.^a ed.
- VEGA, J.: «Bartolomé Sureda y las técnicas gráficas», en *Bartolomé Sureda (1769-1851): arte e industria en la Ilustración tardía*, Isabel Tuda, Eva Corrales y José Sierra, (eds.): Madrid, Museo Municipal, 2000.
- VIGREUX, Ch.: *Art de l'ingénieur. Projet de locomotives, applications de la partie didactique: études d'une locomotive compound à grande vitesse, à voie normale (1 m, 44) et d'une locomotive-tender pour travaux publics ou chemins de fer d'intérêt local à voie de 1 mètre, en collaboration avec M. Ch. Milandre, ingénieur civil*, París, E. Bernard & Cie., 1898.
- VILLANUEVA, I.: *Curso de dibujo industrial o lecciones dadas en la enseñanza de la delineación aplicada a las artes y a las máquinas en el Conservatorio de Artes de Madrid*, 2 vols., Madrid, ed. D. Julián Viana Razola, 1841.
- *Curso de dibujo industrial o lecciones dadas en la enseñanza de la delineación aplicada a las artes y a las máquinas en el Real Instituto Industrial de Madrid*, Madrid, Impr. de la Compañía de Impresores y Libreros del Reino, 1854.
- VITRUVIO POLIÓN, M.: *Los diez libros de arquitectura. Traducidos del latín y comentados por don Joseph Ortiz y Sanz*, Madrid, Imprenta Real, 1787.
- WARREN, E.: *A manual of drafting instruments and operations*, Nueva York, J. Wiley, 1865.
- ZAPATER Y JAREÑO, J., y J. GARCÍA ALCARAZ: *Manual de litografía*, Barcelona, Labor, 1993, ed. facs. de la de Cairel Ediciones, 1878.
- ZULUETA, P.: *Los ingenios y las máquinas: representación gráfica en el período ilustrado en España*, Valladolid, Universidad / Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla y León Este-Demarcación de Valladolid, 2007.